



INFORME  
FINAL  
FIC 2011  
33-01-211

USO DE ALGAS PARDAS DE CULTIVO PARA LA  
BIORREMEDIACIÓN DEL AMBIENTE COSTERO EN LA BAHÍA DE  
CHAÑARAL



Dr. Renato Westermeier H.  
Universidad Austral de Chile  
Sede Puerto Montt

Julio 2013



Universidad Austral de Chile  
*Conocimiento y naturaleza*



## USO DE ALGAS PARDAS DE CULTIVO PARA LA BIORREMEDIACIÓN DEL AMBIENTE COSTERO EN LA BAHÍA DE CHAÑARAL

DIRECTOR DE PROYECTO

DR. RENATO WESTERMEIER H.

EQUIPO CIENTÍFICO Y TÉCNICO

DR. RENATO WESTERMEIER H.

TEC. DAVID PATIÑO A.

ING. PEDRO MURÚA A.

ING. LILIANA MUÑOZ M.

ING. AILIN RUIZ G.

TEC. CARLOS ATERO G.

SRTA. MARISEL AÑAZCO.

COPIAPÓ, JULIO 2013

## Tabla de contenido

Resumen del proyecto .....	4
1. Introducción .....	6
2. Objetivos del proyecto .....	8
3. Materiales y métodos .....	9
3.1 Áreas de estudio.....	9
3.2 Variación estacional de las variables fisicoquímicas de la columna de agua y sedimento	14
3.2.1 Columna de agua.....	14
3.2.2 Sedimento .....	18
3.3 Caracterización biológica de la flora y fauna abundante en bahías de la región de Atacama .....	20
3.4 Estudios de cultivo y repoblamiento de algas en Bahía de Chañaral.....	23
3.4.1 Repoblamiento de <i>L. nigrescens</i> en Chañaral norte y Las Lisas. ....	23
3.4.2 Repoblamiento de <i>M. integrifolia</i> en Chañaral norte .....	28
3.4.3 Cultivo de <i>Macrocystis integrifolia</i> en Barquito.....	30
3.4.4 Cultivo de <i>Gracilaria chilensis</i> en Chañaral sur .....	30
3.5 Composición de metales pesados en algas e invertebrados .....	33
3.5.1 Algas .....	33
3.5.2 Invertebrados .....	35
4. Resultados .....	36
4.1 Variación estacional de las variables fisicoquímicas de la columna de agua y sedimento de las áreas de estudio.....	36
4.1.1 Composición Química columna de agua en diferentes áreas de estudio .....	36
4.1.2 Composición Química sedimentos en Chañaral sur.....	83
4.1.3 Composición granulométrica del sedimento .....	90
4.2 Caracterización de la flora y fauna abundante en bahías de la región de Atacama.....	92
4.2.1 Coberturas de algas e invertebrados en Pan de Azúcar.....	93
a. <i>Transecto 1</i> .....	95
b. <i>Transecto 2</i> .....	97
c. <i>Transecto 3</i> .....	99
4.2.2 Coberturas de algas e invertebrados en Chañaral norte .....	101

a.	Transecto 1 .....	102
b.	Transecto 2 .....	104
4.2.3	Coberturas de algas e invertebrados en Chañaral sur .....	106
a.	Transecto 1 Protegido .....	107
b.	Transecto 2 Semiexpuesto .....	109
c.	Transecto 3 Semiexpuesto .....	111
d.	Transecto 4 Expuesto .....	113
4.2.4	Coberturas de algas e invertebrados en Las Pocitas .....	115
a.	Transecto 1 Protegido .....	116
b.	Transecto 2 Expuesto .....	118
4.2.5	Coberturas de algas e invertebrados en Las Lisas .....	120
a.	Transecto 1 Zona de rocío .....	121
b.	Transecto 2 Protegido .....	123
c.	Transecto 3 Expuesto .....	125
4.3	Replamamiento de <i>L. nigrescens</i> en Chañaral norte y Las Lisas .....	127
4.3.1	Replamamiento en Chañaral norte sobre bolones .....	127
4.3.2	Replamamiento en Chañaral norte sobre roca maciza .....	131
4.3.3	Replamamiento en Las Lisas sobre roca maciza .....	140
4.4	Replamamiento de <i>M. integrifolia</i> en Chañaral norte .....	144
4.5	Cultivo de <i>M. integrifolia</i> en Barquito .....	147
4.6	Cultivo de <i>Gracilaria chilensis</i> en Chañaral sur .....	149
4.6.1	Siembra directa sobre el sustrato arenoso .....	149
4.6.2	Siembra en cultivo suspendido .....	150
4.7	Composición de metales pesados en material biológico .....	153
4.7.1	<i>Lessonia nigrescens</i> .....	153
4.7.2	<i>Macrocystis integrifolia</i> .....	156
4.7.3	<i>Gracilaria chilensis</i> .....	157
4.7.4	Algas en poblaciones naturales .....	159
4.7.5	Herbívoros .....	162
4.8	Actividades de difusión de resultados .....	163
5.	Conclusiones .....	175
6.	Literatura consultada .....	178

# Resumen del proyecto

---

La zona costera de Chañaral, en la región de Atacama, ha sido fuertemente perturbada por el relave de la minería especialmente en el litoral. Este relave ha traído consigo la adición de metales a dicha área geográfica y que posiblemente continua con el aporte que trae el río salado en la Caleta Palito. La presencia de estos residuos mineros ha afectado la calidad del agua y sedimento de las costas de estas localidades, y con ello posiblemente ha disminuido la abundancia y riqueza de especies marinas en el entorno.

En el presente proyecto se experimentó con técnicas de repoblamiento de las especies algales *Lessonia nigrescens* y *Macrocystis integrifolia*, así como también cultivo de *M. integrifolia* y *Gracilaria chilensis*, en franja costera ubicada desde Chañaral norte hasta barquito, así como en los alrededores de esta bahía. Se evaluó el crecimiento, sobrevivencia, y madurez sexual que lograron las algas, así como su capacidad de acumular metales pesados. Asimismo, tanto en la bahía como en localidades aledañas, se hizo una caracterización de las condiciones fisicoquímicas de sus aguas, sedimentos y de la flora y fauna dominante.

Al final de la experiencia, se pudo determinar que *L. nigrescens* podría ser repoblada en la Bahía de Chañaral, a través de la siembra con pegamento en plataformas de roca maciza presentes en el intermareal expuesto de su franja norte. Las plantas no solo se logran fijar firmemente a estos sustratos, sino además crecen y se ponen reproductivas. *G. chilensis* y *M. integrifolia* no fueron factibles de ser cultivadas y repobladas, ya que las condiciones de estos ambientes no lo hicieron posible (Calidad de la columna de agua y características físicas de la arena en el caso de *G. chilensis*, y baja tolerancia a herbívoros en el caso de *M. integrifolia*).

Las condiciones fisicoquímicas del agua y sedimento también sugieren diferencias marcadas en la calidad ambiental entre las localidades más cercanas a la bahía y las más

alejadas, característica que hace que la acumulación de metales pesados por parte de las algas que habitan cada lugar sea distinta. Un ejemplo claro fueron las algas y moluscos provenientes de Chañaral, las que se caracterizaron por tener un grado mayor de metales pesados en sus tejidos.

Los resultados propuestos acá sugieren una segunda etapa de este proyecto, que permita – con un trabajo en conjunto con pescadores- repoblar a una mayor escala el litoral, en conjunto con una evaluación mayor de la sustentabilidad de este repoblamiento, a través de la cuantificación del reclutamiento In situ en la Bahía de *L. nigrescens*, el cual debería ocurrir en el corto plazo.

# 1. Introducción

---

La demanda por algas pardas es cada vez más creciente, lo que alcanza más del 70%. *Lessonia nigrescens* (chascón) y *Macrocystis integrifolia* (huirio norte) son la más importantes. Sus aplicaciones en alginatos y alimentación de abalones han consolidado industrias en la región, las que están lejos de disminuir su producción. Muy por el contrario, estas están demandando cada vez este tipo de biomasa. De hecho, el precio de chascón está alcanzando los \$ 400 kg, mientras que la industria de los abalones se proyecta con duplicar su producción actual en cultivos en el mar. Por lo tanto, las poblaciones naturales podrían eventualmente verse afectadas.

Como medida mitigante, el repoblamiento de algas pardas ha tomado gran importancia los últimos años, con varios intentos de desarrollar tecnología para su restauración. Uno de los últimos intentos, con el alga huirio norte (*Macrocystis integrifolia*) culminó, a través de la ejecución del proyecto FIC “Repoblamiento de *Macrocystis integrifolia* en la región de Atacama”- con técnicas de fácil implementación y de bajo costo. No obstante a lo anterior, el mayor logro de este proyecto fue la determinación de la propagación vegetativa de este tipo de algas, la que sugiere se pudiese aplicar en varias especies del género, entre ellas *Lessonia nigrescens*.

La bahía de Chañaral, en la región de Atacama, fue fuertemente afectada producto de relaves de mineros en la zona. Durante aproximadamente 50 años, se perturbó gran parte de la flora y fauna marina del litoral, lo que constituyó una disminución en su biodiversidad. Se piensa, que la incorporación de algas en este sistema marino podría tener impactos en varios niveles. Un impacto ecológico, con la adición de productores primarios que además de alimento sirven como hábitat, biombo y sustrato natural. Además, al ser especies de importancia comercial, estas algas son de interés para la industria ya que con políticas de manejo pudiese ser una fuente de ingreso sostenible en el tiempo. Tendrían también un fuerte impacto social ya que su extracción y manejo mejoraría la calidad de vida de las personas que interactúan con estos recursos litorales

de la región de Atacama. Por lo mismo, el objetivo del siguiente proyecto fue utilizar algas pardas para el repoblamiento de Chañaral, esperando observar las consecuencias positivas que se mencionan.



## 2. Objetivos del proyecto

---

### Objetivo general

«Evaluar la factibilidad de recuperación de zonas costeras aledañas a relaves mineros, usando las algas *Lessonia nigrescens* y *Macrocystis integrifolia*»

### Objetivos específicos

- Evaluación de la presencia de algas y moluscos en ambientes intermareales cercanos a la ciudad de Chañaral.
- Evaluar la factibilidad de repoblamiento de las algas *L. nigrescens* y *M. integrifolia* en la franja costera de Chañaral.
- Evaluar la factibilidad de cultivo de *M. integrifolia* en la franja costera de Chañaral.
  - Incorporación del cultivo de *Gracilaria chilensis* (pelillo) en zonas fangosas - arenosas
- Evaluar la variación de algas e invertebrados de importancia comercial sobre las áreas repobladas de *L. nigrescens* y *M. integrifolia*.
- Evaluar el potencial biorremediador de algas *L. nigrescens*, *M. integrifolia* y *G. chilensis* en localidades costeras con impacto minero

# 3. Materiales y métodos

---

## 3.1 Áreas de estudio

Las distintas actividades de caracterización físico-químico y biológico del litoral así como de ecología, repoblamiento y cultivo de algas fue desarrollado en la región de Atacama, comprendiendo las localidades de: Pan de Azúcar, Bahía de Chañaral (tanto su costa rocosa en el lado norte y su sector de arena en el sector sur de la bahía), el Puerto de Barquito, Las Pocitas y Las Lisas (fig. 1; fotos 1 - 9). Algunas localidades fueron elegidas excepcionalmente para algunos estudios específicos, como Río Salado y Calderilla.



Fig. 1. Mapa que incluye las localidades de la región de Atacama donde fue desarrollado el proyecto



Foto 1. Área de estudio de los roqueros de Pan de Azúcar



Foto 2. Área de estudio río Salado (Caleta Palito)



Foto 3. Área de estudio de Chañaral norte



Foto 4. Área de estudio en Chañaral sur



Foto 5. Área de estudio de Barquito



Foto 6. Área de estudio de Las Pocitas



Foto 7. Área de estudio de Las Lisas



Foto 8. Área de estudio de Calderilla



Foto 9. Área de estudio de Bahía Chasco

## **3.2 Variación estacional de las variables fisicoquímicas de la columna de agua y sedimento**

### **3.2.1 Columna de agua**

Estudios de la composición fisicoquímica de la columna de agua fueron llevados cabo en los meses de Abril 2012 (Otoño), Agosto 2012 (invierno), Octubre 2012 (primavera) y Enero 2013 (Verano), para las localidades de Pan de azúcar, Rio Salado, Chañaral norte, Barquito y Las Lisas, y excepcionalmente en el mes de Octubre 2012 en las localidades de Chañaral sur, Las Pocitas y Bahía Chasco. Muestras de 1 litro fueron tomadas en botellas de plástico, midiéndose in situ temperatura, salinidad y pH, utilizando conductivímetro y phmetro (modelos Cond 3210 SET 1 WTW y L01711; foto 10 y 11). Las muestras fueron congeladas y enviadas al Instituto noruego del agua (NIVA), para su análisis. La composición de metales pesados fue analizada a través de estudios de laboratorio en NIVA en sus laboratorios de Chile y Noruega, a través de metodologías estándares descritas en AOAC (1995) (tabla 1).



Foto 10. Toma de agua en Rio Salado, utilizando botellas estériles



Foto 11. Conductivímetro y phmetro utilizados para medición de temperatura, salinidad y pH.



Tabla 1. Protocolos utilizados para la cuantificación de metales pesados en agua

Parámetros	Metodología de análisis
<b>Turbidez</b>	ME-03-2007 Turbidimetría Difracción de luz comparado con solución estándar de Formazina 4000 NTU con equipo HACH 2100 ANEquipo: HACH modelo 2100 AN
<b>TOC</b>	
<b>Nitrógeno Total</b>	SM 5310 C(*) Equipos de digestión por persulfato y detección IR, con equipo OI- Analytical AURORA, modelo 1030 TOC
<b>Flúor</b>	
<b>Calcio</b>	SM 3120B (2005) Medición mediante espectroscopia de emisión, equipo ICP con detector óptico, PerkinElmer Optima modelo 5300 DV
<b>Nitrato</b>	
<b>Magnesio</b>	SM 3120B (2005) Medición mediante espectroscopia de emisión, equipo ICP con detector óptico, PerkinElmer Optima modelo 5300 DV
<b>Sodio</b>	
<b>Potasio</b>	
<b>Cloruro</b>	
<b>Sulfato</b>	
<b>Fosfato</b>	
<b>Antimonio</b>	
<b>Arsénico</b>	
<b>Cadmio</b>	
<b>Molibdeno</b>	
<b>Plomo</b>	
<b>Amonio</b>	
<b>Níquel</b>	
<b>Alcalinidad</b>	SM 2320B (2005) Titulación potenciométrica a pH 4.5 o 4,9 con equipo Metrohn 855
<b>Aluminio</b>	ICP-MS*Perkin-Elmer SCIEX ELAN 6000 ICP-MS, equipped with PE autosampler AS-90, AS-90b test boards and PE rinsing Port Kit.
<b>Azufre</b>	
<b>Cobalto</b>	
<b>Cromo</b>	
<b>Cobre</b>	
<b>Estaño</b>	
<b>Litio</b>	
<b>Manganeso</b>	
<b>Selenio</b>	
<b>Talio</b>	
<b>Zinc</b>	
<b>pH</b>	La Motte pH 5 con electrodo de vidrio 1904

<b>Conductividad</b>	La Motte Tracer 1749		
<b>Hierro total</b>	Method 8146, HACH DR 2800		
<b>Nitrógeno total kjehdal (NKT)</b>	Digestión y destilación con detección por electrodo selectivo de amonio		
	Digestor Automático	Büchi	K438
	Autosampler	Büchi	K371
	Destilador automático	Büchi	K370
<b>Amonio</b>	Electrodo Selectivo Amonio equipo Milivoltmetro 781 de Metrohm		
<b>Fosfato</b>	Absorción Molecular Espectrofotómetro HACH DR 5000		
<b>Flúor</b>	Cromatografía Iónica con detección de conductividad-. Equipo Metrohm IC 861		
<b>Nitrato</b>	Cromatografía Iónica con detección de conductividad-. Equipo Metrohm IC 861		
<b>Cloruro</b>	Cromatografía Iónica con detección de conductividad-. Equipo Metrohm IC 861		
<b>Sulfato</b>	Cromatografía Iónica con detección de conductividad-. Equipo Metrohm IC 861		
<b>Sodio</b>	Medición mediante espectroscopia de emisión, equipo ICP con detector óptico, PerkinElmer Optima modelo 5300 DV		
<b>Potasio</b>	Medición mediante espectroscopia de emisión, equipo ICP con detector óptico, PerkinElmer Optima modelo 5300 DV		
<b>Antimonio</b>	Medición a través de Plasma de acoplamiento inductivo ICP-MS PerkinElmer Optima modelo ELAN DRC-e		
<b>Arsénico</b>	Medición a través de Plasma de acoplamiento inductivo ICP-MS PerkinElmer Optima modelo ELAN DRC-e		
<b>Cadmio</b>	Medición a través de Plasma de acoplamiento inductivo ICP-MS PerkinElmer Optima modelo ELAN DRC-e		
<b>Molibdeno</b>	Medición a través de Plasma de acoplamiento inductivo ICP-MS PerkinElmer Optima modelo ELAN DRC-e		
<b>Plomo</b>	Medición a través de Plasma de acoplamiento inductivo ICP-MS PerkinElmer Optima modelo ELAN DRC-e		
<b>Níquel</b>	Medición a través de Plasma de acoplamiento inductivo ICP-MS PerkinElmer Optima modelo ELAN DRC-e		

### 3.2.2 Sedimento

La composición física y química del sedimento en Chañaral sur fue estudiada a través de la caracterización de nutrientes, metales pesados y composición granulométrica. Para ello, tres niveles de profundidad o estratos (0 – 10, 10 – 20 y 20 – 30 cm) fueron colectados en los meses de Abril, Agosto, Octubre 2012 y Enero 2013 (equivalente a las 4 estaciones del año) utilizando trampas de arena o cores (foto 12), las que se enterraron en el sedimento en límite de la marea más baja en cada estación. Para el caso de la composición química de metales pesados y al igual que las muestras de agua, estas muestras fueron congeladas y enviadas al laboratorio de NIVA-Chile y NIVA-Noruega para los respectivos análisis (tabla 2). Para el caso de la granulometría, el set de muestras fue filtrado por tamices de 63, 125, 250, 500 y 1000  $\mu\text{m}$  a modo de establecer la composición porcentual del tamaño del grano de arena (foto 13).



Foto 12. Trampas de arena (cores) utilizado para la colecta de sedimento en 3 estratos

Tabla 2. Protocolos utilizados para la cuantificación de metales pesados en sedimento

Parámetro	Metodología de analisis
Flúor	
Calcio	
Magnesio	
Sodio	
Potasio	
Sulfato	
Fosfato	
Aluminio	
Antimonio	
Arsénico	
Azufre	
Cadmio	ICP-MS* *Perkin-Elmer SCIEX ELAN 6000
Cobalto	ICP-MS, equipped with PE autosampler AS-90, AS-90b test boards and PE rinsing Port Kit.
Cromo	
Cobre	
Estaño	
Hierro total	
Litio	
Molibdeno	
Manganeso	
Plomo	
Selenio	
Talio	
Zinc	
Níquel	



Foto. 12. Set de tamices utilizado para determinación la composición granulométrica del sedimento de Chañaral norte

### 3.3 Caracterización biológica de la flora y fauna abundante en bahías de la región de Atacama

*Metodología: cinco localidades fueron elegidas para la realización de este estudio:*

- 1) *Las Lisas*
- 2) *Las Pocitas*
- 3) *Chañaral centro-sur*
- 4) *Chañaral norte*
- 5) *Caleta Pan de Azucar*

En cada una de estas localidades se trazaron transectos regulares desde la parte mas baja de la línea de marea hasta la parte mas alta (incluyendo zonas donde llega rocío de las olas y pozas intermareales), reconociendo la diversidad de especies algales y de invertebrados a través de su abundancia (cobertura). Para ello se utilizó el método de punto intercepto, a través cuadrantes de 25 cm de lado (con 100 puntos regulares en su interior, donde cada punto equivale a 1%) (Figs. 14 - 18). Se realizaron 3 transectos (n=3) en cada localidad, de acuerdo a Westermeier & Rivera (1986).

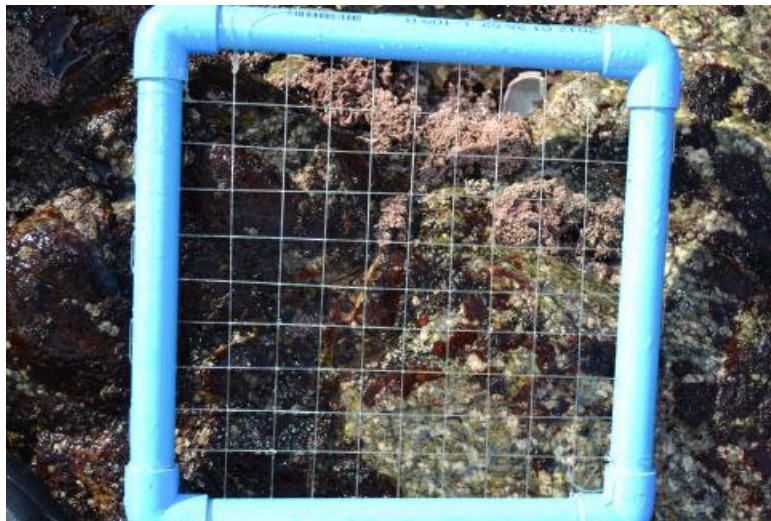


Foto. 14. Cuadrante con 100 puntos regulares para cuantificación de cobertura de algas y moluscos en la localidad de Pan de Azucar.

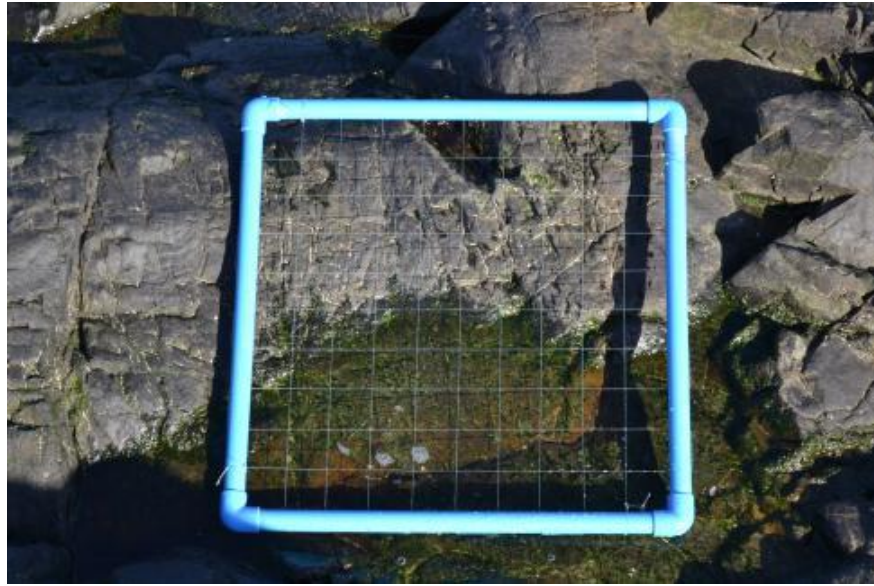


Foto 15. Cuadrante con 100 puntos regulares para cuantificación de cobertura de algas y moluscos en la localidad de Chañaral norte.



Foto 16. Cuadrante con 100 puntos regulares para cuantificación de cobertura de algas y moluscos en la localidad de Chañaral centro-sur

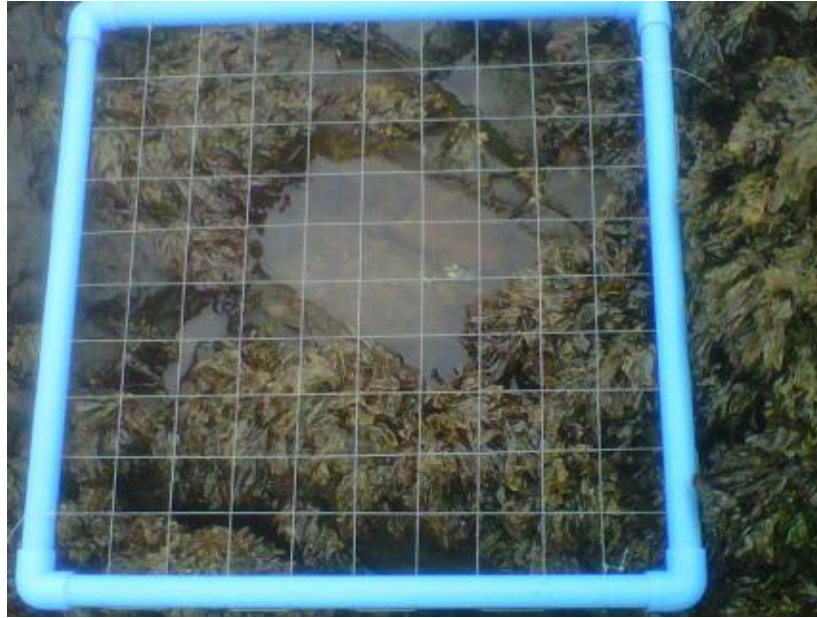


Foto 17. Cuadrante con 100 puntos regulares para cuantificación de cobertura de algas y moluscos en la localidad de Las Pocitas



Fig. 18. Cuadrante con 100 puntos regulares para cuantificación de cobertura de algas y moluscos en la localidad de Las Lisas

### 3.4 Estudios de cultivo y repoblamiento de algas en Bahía de Chañaral.

Inicialmente, este estudio comprendía el uso de algas pardas (*Lessonia* y *Macrocystis*) de cultivo para el desarrollo del repoblamiento y maricultura en Chañaral. Sin embargo, posteriormente se decidió incluir el cultivo de *Gracilaria* tanto sobre la arena (siembra directa) como cultivo en long-lines (suspendido en la columna de agua), para evaluar su factibilidad dentro de la bahía, así como su potencial uso por pescadores de esta localidad.

#### 3.4.1 Repoblamiento de *L. nigrescens* en Chañaral norte y Las Lisas.

Plantas de *Lessonia nigrescens* provenientes de cultivo flotante, desarrollado en el laboratorio de algas de la Universidad Austral de Chile sede Puerto Montt (foto 19) y de fragmentos de disco de fijación de plantas adultas de la pradera natural en Pan de Azúcar (foto 20) fueron sembradas artificialmente en Chañaral norte (costa rocosa expuesta), utilizando elásticos o pegamento no tóxico e instalados en las bahías en estudio (foto 21 - 24). Las pruebas fueron realizadas en diferentes épocas del año (tabla 3). Dentro de los estudios que se realizaron en este proyecto, se evaluaron además de la estacionalidad de la siembra, el tipo de ambiente (expuesto versus protegido) y la presencia de herbívoros y algas con mecanismos anti-herbivoría.

Como control, el mismo procedimiento se realizó en Las Lisas, una localidad donde actualmente hay una población de *Lessonia nigrescens*.

Mensualmente se evaluó crecimiento de los ejemplares (en longitud total, diámetro del disco de fijación y número de estipes), fenología reproductiva y sobrevivencia (foto 25).





Foto. 19. Plántula de *L. nigrescens* proveniente de cultivo, utilizada para el repoblamiento.



Foto. 20. Fragmentos de disco de *L. nigrescens* proveniente de pradera natural, utilizada para el repoblamiento.



Foto. 21. Siembra de *Lessonia nigrescens* en Chañaral norte sobre bolones



Foto. 22. Siembra de *Lessonia nigrescens* en roca maciza: plántulas de cultivo.



Foto. 23. Siembra de *Lessonia nigrescens* en roca maciza: fragmentos de disco.



Foto 24. Siembra de *L. nigrescens* sobre poblaciones de *Dictyota dichotoma*, un alga con mecanismo anti-herbivoría.



Foto. 25. Cuantificación de variables productivas de *L. nigrescens*

Tabla 3. Siembras de *L. nigrescens* realizadas en Chañaral norte

Tratamiento	Localidad	Fecha de siembra	Exposición al oleaje	Observaciones
Bolón - Elástico	Chañaral norte	jun-12	protegido	sin <i>Dictyota dichotoma</i> cerca
Bolón - pegamento	Chañaral norte	jul-12	protegido	sin <i>Dictyota dichotoma</i> cerca
Maciza (I) - pegamento	Chañaral norte	jul-12	protegido	sin <i>Dictyota dichotoma</i> cerca
Maciza (II) - pegamento	Chañaral norte	ago-12	protegido	sobre parches de <i>D. dichotoma</i>
Maciza (III) - pegamento	Chañaral norte	sep-12	protegido/semi-protegido	sobre parches de <i>D. dichotoma</i>
Maciza (IV) - pegamento	Chañaral norte	oct-12	semi-protegido/expuesto	sobre parches de <i>D. dichotoma</i>
Maciza (V) - pegamento	Chañaral norte	ene-13	expuesto	sobre el nivel de <i>D. dichotoma</i>
Maciza (I) - pegamento	Las Lisas	sep-12	expuesto	<i>D. dichotoma</i> no detectada en la zona
Maciza (II) - pegamento	Las Lisas	oct-12	semi-protegido/expuesta	<i>D. dichotoma</i> no detectada en la zona

### 3.4.2 Repoblamiento de *M. integrifolia* en Chañaral norte

Plantas de *Macrocystis integrifolia* provenientes de cultivo flotante iniciado en la UACH (foto 26) y de fragmentos de disco de fijación de plantas adultas de la pradera natural en Bahía Chasco (foto 27) fueron también sembradas en Chañaral norte, utilizando elásticos y pegamento no tóxico e instalados en las bahías en estudio (foto 28). Las pruebas fueron realizadas en los meses de Junio y Julio 2012. Mensualmente se evaluó crecimiento de los ejemplares (en longitud total, diámetro del disco de fijación y número de estipes), fenología reproductiva y sobrevivencia.



Foto. 26. Plántula de *M. integrifolia* proveniente de cultivo, utilizada para el repoblamiento.



Foto. 27. Fragmentos de disco de *M. integrifolia* proveniente de pradera natural, utilizada para el repoblamiento.



Foto 28. Siembra de *Macrocystis integrifolia* en Chañaral norte

### 3.4.3 Cultivo de *Macrocystis integrifolia* en Barquito

Plantas de *Macrocystis integrifolia* fueron sembradas en la bahía de Chañaral en cultivo suspendido vertical a una densidad de 6 plantas por metro lineal, con el objetivo de evaluar factibilidad de cultivo de esta especie en estas condiciones ambientales. Durante los meses de Noviembre 2012 – Enero 2013 se sembraron fragmentos de disco en long-line (foto 29). Además, excepcionalmente en el mes de Febrero 2013 se sembraron plántulas de cultivo de una variedad mejorada de *Macrocystis*, un cruce de los morfos *pyrifera* e *integrifolia* que ha demostrado tener una mayor tolerancia a variables ambientales. Parámetros como crecimiento, sobrevivencia y biomasa final fueron muestreados durante el desarrollo de este proyecto en estas 4 siembras.



Foto. 29. Siembra de *Macrocystis integrifolia* en la localidad de Barquito.

### 3.4.4 Cultivo de *Gracilaria chilensis* en Chañaral sur

#### a. *Siembra directa sobre el sustrato arenoso*

Para la siembra de pelillo se utilizó el método de siembra directa. Se extrajo material de una pradera natural ubicada en Calderilla, Caldera, a 70 km del área de estudio. Se

hicieron paquetes (manojos) de 100 g los cuales fueron fijados al sustrato arenoso de la costa de Chañaral con la ayuda de una pala de siembra. La densidad de cultivo se estableció en 6 paquetes de 100 g por m<sup>2</sup>. Un total de 40 m<sup>2</sup> se dispusieron en la localidad de Chañaral norte (foto 30) y 14 m<sup>2</sup> zona de Chañaral sur (foto 31). Mensualmente se evaluaría el incremento de la biomasa m<sup>-2</sup>.



Foto 30. Siembra *Gracilaria chilensis* Chañaral Norte



Foto 31. Siembra *Gracilaria chilensis* Chañaral Sur



*b. Siembra en cultivo suspendido*

Manojos de 100 g de *Gracilaria chilensis* (foto 32) fueron sembradas al interior de la bahía de Chañaral en cultivo suspendido (horizontal) a una densidad 6 paquetes m líneaal-1, con el objetivo de evaluar factibilidad de cultivo de estas especies en estas condiciones ambientales (foto 33). Las siembras fueron realizadas en los meses de Diciembre 2013, Enero, Febrero, Marzo, y Mayo de 2013. Parámetros como crecimiento, sobrevivencia y biomasa final serian muestreados durante el desarrollo de este cultivo.



Foto 32. Preparación de manojos de *G. chilensis* de 100g para su siembra en líneas de cultivo.



Foto 33. Siembra de *Gracilaria chilensis* en Bahía de Chañaral durante el mes de Octubre

## 3.5 Composición de metales pesados en algas e invertebrados

### 3.5.1 Algas

Algas de diferentes taxones fueron colectadas, dependiendo de su presencia y abundancia, en distintas épocas del año y en diferentes localidades, con el objeto de evaluar su capacidad de acumular y tolerar metales pesados. La tabla 4 resume todas las colectas realizadas en el transcurso de este proyecto, de las que se realizaron las siguientes comparaciones en la composición de metales pesados:

- *Lessonia nigrescens*: comparación de plantas (y sus diferentes órganos fronda, estipes y disco de fijación) producidas del repoblamiento en Chañaral norte con plantas de praderas naturales de Pan de Azúcar y Las Lisas.
- *Gracilaria chilensis*: comparación de biomasa producida en cultivo (a base de siembra directa en Chañaral norte y de cultivo suspendido en Barquito) con biomasa obtenida de poblaciones naturales de Calderilla.
- *Ulva ssp.*: comparación de biomasa obtenida desde Chañaral sur, en tres estaciones del año, con un control en las Lisas.
- *Dictyota dichotoma*, *Halopterys sp.* y *Porphyra sp.*: comparación de tres algas que son altamente abundantes en las localidades de Chañaral norte y las Lisas, y que podrían ser utilizadas como indicadoras de polución por metales pesados.
- *Macrocystis integrifolia*: y su acumulación de metales pesados en diferentes partes del talo después de haber sido cultivada en Barquito.

Estas muestras fueron secadas a 60°C peso constante, pulverizadas y enviadas a analizar a NIVA Chile y NIVA Noruega utilizando las metodologías descritas para material biológico (tabla 5).

Tabla 4. Resumen de colecta de algas, la localidad de extracción y la estación del año de cosecha.

Especie	Órgano	Estación del año	Localidad	Origen
<i>Lessonia nigrescens</i>	Fronda	Verano	Pan de Azúcar	Población natural
<i>Lessonia nigrescens</i>	Estipe	Verano	Pan de Azúcar	Población natural
<i>Lessonia nigrescens</i>	Disco de fijación	Verano	Pan de Azúcar	Población natural
<i>Lessonia nigrescens</i>	Fronda	Verano	Chañaral Norte	Repoblamiento
<i>Lessonia nigrescens</i>	Estipe	Verano	Chañaral Norte	Repoblamiento
<i>Lessonia nigrescens</i>	Disco de fijación	Verano	Chañaral Norte	Repoblamiento
<i>Lessonia nigrescens</i>	Fronda	Verano	Las Lisas	Población natural
<i>Lessonia nigrescens</i>	Estipe	Verano	Las Lisas	Población natural
<i>Lessonia nigrescens</i>	Disco de fijación	Verano	Las Lisas	Población natural
<i>Gracilaria chilensis</i>	Talo superior a la superficie	invierno	Chañaral Sur	Cultivo
<i>Gracilaria chilensis</i>	Talo Limite de la superficie	Invierno	Chañaral Sur	Cultivo
<i>Gracilaria chilensis</i>	Talo fondo de la superficie	Invierno	Chañaral Sur	Cultivo
<i>Gracilaria chilensis</i>	Planta entera	Invierno	Calderilla	Cultivo
<i>Gracilaria chilensis</i>	Planta entera	Verano	Calderilla	Cultivo
<i>Gracilaria chilensis</i>	Planta entera	Verano	Barquito (siembra Dic)	Cultivo
<i>Gracilaria chilensis</i>	Planta entera	Verano	Barquito (Siembra Ene)	Cultivo
<i>Dictyota dichotoma</i>	Planta entera	Invierno	Chañaral Norte	Población natural
<i>Dictyota dichotoma</i>	Planta entera	Primavera	Chañaral Norte	Población natural
<i>Dictyota dichotoma</i>	Planta entera	Verano	Chañaral Norte	Población natural
<i>Porphyra columbina</i>	Planta entera	Invierno	Las Lisas	Población natural
<i>Porphyra columbina</i>	Planta entera	Primavera	Las Lisas	Población natural
<i>Porphyra columbina</i>	Planta entera	Verano	Las Lisas	Población natural
<i>Halopterys sp.</i>	Planta entera	Invierno	Las Lisas	Población natural
<i>Halopterys sp.</i>	Planta entera	Primavera	Las Lisas	Población natural
<i>Halopterys sp.</i>	Planta entera	Verano	Las Lisas	Población natural
<i>Ulva compressa</i>	Planta entera	Invierno	Chañaral Sur	Población natural
<i>Ulva compressa</i>	Planta entera	Primavera	Chañaral Sur	Población natural
<i>Ulva compressa</i>	Planta entera	Verano	Chañaral Sur	Población natural
<i>Ulva ssp.</i>	Planta entera	Primavera	Las Lisas	Población natural
<i>Macrocystis integrifolia</i>	Fronda	Verano	Barquito	Cultivo
<i>Macrocystis integrifolia</i>	Estipe	Verano	Barquito	Cultivo
<i>Macrocystis integrifolia</i>	Disco de fijación	Verano	Barquito	Cultivo

Tabla 5. Metodologías utilizadas para el análisis de metales pesados en material biológico (fuente: NIVA Chile)

Parámetro	Metodología de analisis
Aluminio	*espectroscopia de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente (ICP-AES).
Arsénico	**espectroscopia de Fluorescencia Atómica con previa generación de hidruros HG-AFS.
Cadmio	*espectroscopia de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente (ICP-AES).
Cobalto	
Cromo	
Cobre	
Fierro total	
Molibdeno	
Manganeso	
Plomo	
Zinc	
Níquel	

### 3.5.2 Invertebrados

De las localidades de Pan de Azúcar, Chañaral norte y Las Lisas, muestras de herbívoros fueron colectados para analizar su composición de metales pesados (tabla 6). Como un control adicional, se utilizó una muestra proveniente de Calbuco, X región de Chile. Bolsas plásticas fueron llenadas con alrededor de 500 g (peso húmedo) de cada especie, congeladas y enviadas a pruebas de laboratorio para su análisis. Los métodos químicos para esta caracterización se muestran en la tabla 6 y que corresponden a los mismos que los utilizados en algas, con la salvedad que en moluscos se utilizó tejido visceral.

Tabla 6. Resumen de colecta de algas, la localidad de extracción y la estación del año de cosecha.

Especie	Localidad	Estación del año
<i>Fissurella sp.</i>	Calbuco *	Invierno
<i>Calyptraea trochiformis</i>	Chañaral norte	Invierno
<i>Prisogaster niger</i>	Chañaral norte	Invierno
<i>Calyptraea trochiformis</i>	Pan de Azúcar	Verano
<i>Taliepus dentatus</i>	Chañaral norte	Verano
<i>Mytilus chilensis</i>	Barquito	Verano
<i>Tegula sp.</i>	Chañaral norte	Verano
<i>Enoplochiton niger</i>	Pan de Azúcar	Verano

## 4. Resultados

---

### 4.1 Variación estacional de las variables fisicoquímicas de la columna de agua y sedimento de las áreas de estudio.

#### 4.1.1 Composición Química columna de agua en diferentes áreas de estudio

Las variables fisicoquímicas (nutrientes y metales) de las localidades de Pan de Azúcar, río Salado, Chañaral norte, Barquito, Las Pocitas y las Lisas se muestran en la tabla 7 y en las figuras 2 - 36. Adicionalmente, las variables fisicoquímicas en la estación del año de primavera (Sept) de Chañaral sur, Las Pocitas y Bahía Chasco se muestran en la tabla 8.

##### *Temperatura*

La temperatura varió estacionalmente en todas las localidades (tabla 7). En las muestras de agua sus valores estuvieron cercanos a los 15°C en invierno y 19°C en verano. En Río Salado estos valores fueron levemente menores, con valores entre 13 – 16°C, siendo los mayores valores en verano.

##### *PH*

El potencial de hidrogeno en las distintas localidades se muestran en la figura 2 y en la tabla 8. Los valores de pH estuvieron en los rangos normales para el agua de mar (aprox. ~ 8; fuente: base de datos NIVA- Chile), así como también con los valores de agua dulce para el caso de Río salado. En primavera se observa una leve tendencia al alza después que los valores en invierno fueron los más bajos en este estudio. Esta variación, sin embargo, no fue significativa.

##### *Conductividad*

La conductividad se muestra en la figura 3 y tabla 8. En general, todos los valores de conductividad fueron similares a los promedios de agua de mar (~ 4650 ms/m para aguas del sur de Chile y 5565 ms/m para Caldera, fuente: base de datos NIVA- Chile). Por otro lado, los valores de conductividad de río Salado fueron altos en relación a los de un río normal (~ 249 ms/m, fuente: base de datos NIVA- Chile). Esto podría tener relación con la gran turbidez que tiene estas muestras, producto hipotéticamente, de escorrentía minera o efluentes con material particulado.

### ***Alcalinidad***

La figura 4 y la tabla 8 muestran los distintos valores de alcalinidad de cada una de las localidades en estudio. La alcalinidad es una medición de la capacidad tamponante del agua. Mayor alcalinidad se traduce en mayor capacidad tamponante, e indirectamente, en menor toxicidad de metales. La alcalinidad está expresada en mmol/l de  $\text{HCO}_3$ . La figura 4 muestra los valores de alcalinidad y su variación estacional en las localidades de estudio. En prácticamente todos los casos los valores son comparables con los niveles observados en agua de mar ( $\sim 2.4$  mmol/l, fuente: base de datos NIVA- Chile), siendo esto consecuente con lo observado para el caso de pH y conductividad. Contrariamente, los valores de alcalinidad para la muestra de río Salado está sobre los valores normales ( $\sim 0.9$  mmol/l, fuente: base de datos NIVA- Chile), lo cual deberían tener relación altos valores de calcio y magnesio de estas muestras.

### ***Turbidez***

La turbidez es una medida del contenido de partículas en el agua. Dependiendo del cuerpo de agua, la turbidez puede originarse de materia orgánica o materia mineral. Cuando la tendencia de la turbidez presenta un patrón como el descrito para carbono orgánico, entonces se estima que ésta tiene un origen orgánico. No obstante, la turbidez también se correlaciona con la conductividad, sugiriendo también influencias de origen mineral. En consecuencia, el origen sería mixto y presenta variación estacional en su composición.

Los valores de turbidez observada en todas las muestras (Fig. 5; tabla 8) están dentro de rangos normales para agua de mar (2.3 NTU). La excepción son las muestras de Río Salado, la que en tres estaciones del año (otoño, invierno y primavera) supera con creces los valores considerados normales de un cuerpo de agua dulce (3.1 NTU). La primera, registra un valor muy alto. Si bien esto es consecuente con un alto NPOC (Carbono Orgánico no purgable), esto también pareciera relacionarse con partículas de origen mineral.

### ***Nitrógeno en sus diferentes formas***

La concentración de nitrógeno total, nitratos, nitritos y nitrógeno amoniacal total se muestran en las figuras 6 - 9 y en la tabla 8. En general, la concentración de Nitrógeno total, de nitrato y nitrito en los puntos estudiados se observa en rangos adecuados en otoño, invierno y primavera. Excepciones son las muestras de todas las estaciones de año en Río Salado y todas las muestras de verano de todas las localidades, las que estuvieron por sobre los niveles esperados en agua de mar

y dulce (348 y 699  $\mu\text{g/l}$  respectivamente de nitrógeno y 60 y 227  $\mu\text{g/l}$  de nitrato, fuente: base de datos NIVA- Chile) (figs. 6 – 8). Por un lado, los valores de verano podrían sugerir un mayor aporte de materia particulado producto de ciclos biológicos, los que involucran un aporte mayor de necromasa a los sistemas acuáticos. Sin embargo, los altísimos valores en las muestras de Rio Salado podrían sugerir la presencia de concentraciones altas ( $>1000 \mu\text{g/l}$ ) de Nitrógeno total (Tot-N) y de Nitrato (N-NO<sub>3</sub>) lo que pueden ser indicativas de actividades agrícola/humana, y puede existir riesgo para la biota si los niveles de nitrato son mayores a  $1 \times 10^6 \mu\text{g/l}$ .

Como regla general, el nivel TAN (nitrógeno amoniacal total) debiese estar bajo  $1000 \mu\text{g/l}$  para evitar riesgo de efectos nocivos en animales marinos, por ejemplo peces. La toxicidad del TAN (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N + NH<sub>3</sub>-N) está influenciada por el nivel de amoniaco no ionizado (NH<sub>3</sub>-N); el cual, aumenta junto con el pH y la temperatura. Como muestra la figura 9 y en la tabla 8, los resultados de TAN en las muestras estudiadas se presenta dentro de rangos normales, que no representa riesgo para la biota, siendo comparables con las referencias conocidas (agua de mar y agua dulce entre 70 – 200  $\mu\text{g/l}$ ; fuente: NIVA Chile).

### ***Carbono Orgánico no purgable (NPOC) y Carbono Orgánico Total (TOC)***

En el agua de mar el NPOC es un parámetro que permite obtener información del carbono de origen orgánico y asociación de nitrógeno y fósforo originado de moléculas de origen orgánico (como ácido nucleicos). En el caso de cuerpos de agua dulce se habla de Carbono Orgánico Total (TOC), ya que los valores de carbono orgánico observados son bajos como para ejercer un efecto de este tipo.

Los valores de NPOC de agua de mar estuvieron normales para todas las áreas de estudio (los que estuvieron cerca de los 1.3 mg/l esperados), excepto en verano, donde los valores bordearon los 18 mg/l (fig. 10). Los altos valores e verano pueden estar asociados a eventos reproductivos o de mortalidad masiva. Por otro lado, las concentraciones observadas de TOC para las muestras de rio Salado son muy altas en otoño, lo que claramente es indicador de alguna anomalía en ese caudal, ya que como el nivel de turbidez es alto en esta muestra, podría ser fuente de aportes de material particulado.

### ***Fosfato***

En la fig. 11 y en la tabla 8 muestran los niveles de fosfatos en la columna en Chañaral y sus alrededores. En el caso de las muestras de agua de mar, los rangos de fosfatos fueron de 25 – 79

$\mu\text{g/l}$ , lo cual es considerado normal para estos cuerpos de agua. En el caso de las muestras de agua dulce, la excepción estuvo en las muestras de río Salado en otoño, la cual estuvo sobre las 700  $\mu\text{g/l}$ , valores considerados como excesivos para este tipo de efluente.

### ***Dureza***

La dureza es reflejada en la figura 12 y tabla 8. La dureza, al igual que la alcalinidad, es otra forma de expresar la capacidad tamponante en el agua y se calcula (normalmente) en base a la concentración de calcio y magnesio. La figura 12, muestra los niveles de dureza en  $\text{mg/l}$  de  $\text{CaCO}_3$  en las 5 localidades de estudio, comparados con los promedios antes citados. Eventualmente, la dureza es un parámetro que se relaciona con menor toxicidad de metales dado que indirectamente representa la concentración de calcio.

Los valores de dureza registrados, son comparables con los del agua de mar para todas las muestras ( $\sim 6263 \text{ mg/l CaCO}_3$ ; fuente: base de datos NIVA- Chile). Las muestras de Río Salado en tres estaciones del año (otoño, primavera y verano) son una excepción, ya que fueron significativamente más altas que valores normales en agua dulce ( $\sim 65 \text{ mg/l CaCO}_3$ , fuente: base de datos NIVA- Chile). Estas muestras presentan también valores altos de turbidez y conductividad, lo que puede indicar una combinación de aporte por procesos de concentración (i.e. desalinización) y también efluentes con material particulado.

### ***Calcio***

El nivel de toxicidad que puede ejercer un metal es dependiente de la concentración de calcio. La concentración de calcio que amortigua el efecto tóxico de los metales, es diferente para cada metal en particular. A modo de ejemplo, se cita el caso del cobre (Meade, 1989), en que la concentración necesaria de calcio es alrededor de orden de magnitud superior a la necesaria para atenuar el efecto tóxico de aluminio cuando se trata de peces.

Los niveles de calcio se muestran en la figura 13 y tabla 8. Los valores de calcio en las muestras (son similares a los observados en agua de mar ( $484 \text{ mg/l}$ , fuente: base de datos NIVA- Chile). En río Salado, al igual que los indicadores anteriores, e independiente a la estación de año de cuando se realizaron los muestreos, los niveles están muy por sobre los de Calcio en agua dulce, donde los valores no exceden los  $18 \text{ mg/l}$  (fuente: base de datos NIVA- Chile).



### ***Magnesio***

El magnesio, al igual que el calcio, juega un rol protector contra la toxicidad de metales. Normalmente este aporta, en menor proporción que el calcio (concentración), a este efecto positivo en cuerpos de agua dulce. En agua de mar, la concentración de magnesio es superior a la de calcio y aporta en mayor proporción a la atenuación del efecto tóxico de metales.

Los resultados de agua de mar muestran valores similares de magnesio al compararlos con aquellos de origen marino considerados como normales (~1231 mg/l, fuente: base de datos NIVA-Chile) (Fig. 14; tabla 8). En el agua del río Salado se sobrepasan estos valores, en todas las estaciones del año (fig. 14). Lo anterior refuerza la hipótesis de que estas diferencias observadas sean de origen terrestre.

### ***Potasio***

Los valores de Potasio registrados se ubican dentro de rangos normales presentes en agua de mar (~390 mg/L, fuente: base de datos NIVA- Chile) (fig. 15). Por otro lado, las excepciones nuevamente son las muestras de río Salado, que se encuentran por sobre los 2 mg/l que usualmente tienen de potasio los cuerpos de agua dulce (fuente: base de datos NIVA- Chile). Siendo el potasio un catión altamente soluble, al igual que para el caso del sodio, se estima que su origen no está dado por la presencia de material en suspensión, sino que, en una contribución efectiva de fuentes que aportan este catión en forma disuelta.

### ***Sodio***

La figura 16 muestra los resultados obtenidos para la concentración de sodio. La concentración media de sodio, para el agua de mar se ha calculado en torno a 10.700 mg/l, siendo ésta muy estable cuando no existe efecto de cuerpos de agua dulce cercanos, situación que efectivamente ocurrió en Pan de azúcar, Chañaral norte y sur, Barquito, Las Lisas y Bahía Chasco (fig. 16 y tabla 8). Asimismo, las concentraciones de sodio en cuerpos de agua terrestre no debiesen exceder los 33 mg/l (fuente: base de datos NIVA- Chile), siendo los valores de Río Salado superiores entre 7000- 29000 mg/l (fig. 16).

### ***Cloro***

Las concentraciones de cloro en agua de mar estuvieron en los rangos normales dentro de las localidades estudiadas (fig. 17). En el caso de las muestras de agua dulce, en cambio, las muestras estuvieron levemente altas, con valores  $44 - 52 \times 10^4$  mg/l).

### ***Flúor***

El flúor no tuvo diferencias entre las diferentes localidades, sino más bien a nivel estacional (fig. 18). En otoño e invierno los valores fueron los más altos (300 – 700 µg/l). En primavera y verano, en cambio, la presencia de flúor apenas fue detectado.

### ***Azufre y sulfato***

La composición de azufre y sulfatos se muestran en las figuras 19 y 20. Las concentraciones de azufre en general son comparables a lo encontrado en agua de mar (900 mg/l; fig. 19). Las muestras de Río Salado nuevamente estuvieron altas, en todas las estaciones del año, respecto a lo esperado para cuerpos de agua dulce (3 mg/l, fuente: base de datos NIVA- Chile). Este azufre se estima debe estar mayormente en forma disuelta. Una tendencia similar fue observada en los niveles de sulfatos, con valores entre 1900 – 3000 mg/l en agua de mar (normales), y sobre 4000 mg/l en muestras de río Salado (considerado altos para este cuerpo de agua)

### ***Hierro***

Los valores obtenidos en hierro se muestran en la figura 21 y tabla 8. El nivel es fluctuante, tanto entre épocas diferentes, como dentro de una misma estación en sitios diferentes. Al igual que en casos anteriores, estas fluctuaciones pueden ser indicador de la presencia de fuentes externas como actividades industriales. Los valores encontrados en agua de mar son normales (~ 46 µg/l, fuente: base de datos NIVA- Chile) mientras que los de las muestras de río Salado estuvieron altas en comparación a los niveles de agua dulce (67 – 473 µg/l, fuente: base de datos NIVA- Chile), especialmente en la muestra de otoño (fig. 21). Esta muestra es particularmente alta lo que en buena medida puede estar explicado por el alto nivel de material particulado (turbidez; fig. 5). Este nivel claramente representa un riesgo para la biota.

### ***Aluminio***

La Figura 22 muestra el nivel de aluminio en las muestras estudiadas. Es posible indicar que en todas las muestras la concentración de aluminio es baja, a excepción de las muestras de Río Salado de otoño y verano (fig. 22). En estas dos muestras las concentraciones de aluminio son excesivamente altas, lo que podría generar efectos adversos en la flora y fauna que está en contacto con este cuerpo de agua. Particularmente la muestra de verano exhibe mayores órdenes

de magnitud de turbidez, sugiriendo alta presencia de material particulado. La muestra de verano, muestra muy alta conductividad y altos de turbidez (figs. 3 y 5), sugiriendo presencia de aluminio en su forma disuelta.

### ***Cadmio***

Los valores de Cadmio en agua de mar registrados en este estudio se muestran en la fig. 23 y tabla 8. Para las muestras de mar, todos los valores estuvieron bajo rangos que se cita en la literatura ( $< 2 \mu\text{g/l}$ ), o normales para el agua de mar ( $0.04 \mu\text{g/l}$ ), fuente: base de datos NIVA- Chile. Las muestras de rio Salado de otoño, invierno y verano tuvieron niveles de cadmio mucho mayores que las consideradas normales para cuerpos de agua dulce ( $< 1 \mu\text{g/l}$ , fuente: base de datos NIVA- Chile).

### ***Cobalto***

Los valores de cobalto presentes en las muestras son comparados en la figura 24 y tabla 8. Todos los valores estuvieron bajo los  $6 \mu\text{g/l}$  que se consideran normales para agua de mar (según las base de datos de NIVA Chile), a excepción de las muestras de Rio Salado en Otoño, la que superó excesivamente los  $0.5 \mu\text{g/l}$  considerados aceptables para la biota.

### ***Cromo***

Los resultados de los análisis e cromo se muestran en la fig. 25 y en la tabla 8. Las muestras de cromo no superaron los  $4 \mu\text{g/L}$ , lo que pareciera ser normal para las localidades analizadas. Sin embargo, un valor altísimo de este elemento fue encontrado en las muestra de Rio Salado en otoño, la que podría tener relación con el alto grado de turbidez de esta muestra en particular.

### ***Cobre***

El cobre es usualmente más tóxico que otros metales, tales como, el aluminio y el hierro. La toxicidad del cobre está fuertemente influenciada, entre otros, por la dureza del agua y el Carbono Orgánico Total (TOC). La fig. 26. muestra la concentración de cobre para todas las muestras. Se observa una fluctuación en los valores y algunos de éstos superan los promedios a lo largo del año ( $3.0 \mu\text{g/l}$  en agua de mar y  $1.4 \mu\text{g/l}$  en agua dulce, fuente: base de datos NIVA- Chile). Esto puede indicar la existencia de aportes de este metal a lo largo de cada localidad. Los resultados de las

muestras de primavera y verano de Rio Salado, por ejemplo, son particularmente altos y podrían tener un efecto sobre la biota.

### ***Manganeso***

La Fig. 27 y la tabla 8 muestra las concentraciones de Manganeso en todas las muestras analizadas. Mientras las muestras de origen marino estuvieron en rangos normales y aceptables ( $\sim 1.7 \mu\text{g/l}$ , fuente: base de datos NIVA- Chile), las muestras de rio Salado en todas las estaciones del año registraron valores significativamente mayores comparados con la referencia para agua dulce ( $21.2 \mu\text{g/l}$ ).

### ***Plomo***

Los niveles de plomo se muestran en la figura 28 y tabla 8. Todas las muestras (excepto la de rio Salado en otoño) presentan concentraciones bajas de plomo. Concentraciones en torno a lo observado en esta esta muestra ( $710 \mu\text{g/l}$ ) pueden producir efectos adversos en la biota habiendo exposición. Además, el alto nivel de plomo en esta puede estar asociado a la concentración de material particulado, lo que se debería validar.

### ***Zinc***

La composición de zinc en los cuerpos de agua analizados se muestra en la fig. 29 y en la tabla 8. El nivel de zinc en todas las muestras, excepto la muestra de Otoño de rio Salado, está en rangos normales para agua de mar ( $29,8 \mu\text{g/l}$ ) y dentro de concentraciones que habitualmente se encuentran en agua dulce ( $16.7 \mu\text{g/l}$ ). No obstante, todos los valores de Rio Salado sugieren la existencia de aportes externos como de origen industrial. Por ejemplo, la concentración de  $4260 \mu\text{g/l}$  de la muestra de rio Salado en otoño podría relacionarse con el material particulado. Muestras analizadas en la zona sur, con alto contenido de material mineral asociado a eventos eruptivos (con alto nivel de material en suspensión) han presentado niveles de zinc en torno a  $700 \mu\text{g/l}$ , lo que es 6 veces menos que en la muestra de Rio Salado en otoño. Obviamente, niveles de zinc de tal magnitud pueden ejercer efectos adversos sobre la biota dependiendo de las concentraciones de calcio o magnesio.

### ***Molibdeno***

En la figura 30 y en la tabla 8 se muestran la composición de molibdeno de las localidades de estudio. Los valores de Molibdeno estuvieron normales para las muestras de agua de mar, cercanos a 10 µg/l. No obstante, los 0.5 µg/l considerados como normales en cuerpos de agua dulce fueron ampliamente superados por las muestras de Rio Salado de otoño, invierno y verano. Probablemente, la alta relación entre los metales pesados presentes en este cuerpo de agua tengan el mismo origen.

### ***Níquel***

La figura 31 y la tabla 8 presentan la concentración de Níquel registradas en las muestras de agua analizadas. Todas ellas con valores bajos en comparación a los registrados en la bibliografía para agua de mar y agua dulce (7.0 y 0.5 µg/l respectivamente), excepto la muestra de Rio Salado en otoño (650 µg/l), la que puede estar altamente influida por el material particulado, reflejado en el nivel de turbidez.

### ***Selenio, Antimonio y Talio***

Las concentraciones de estos tres metales se muestran en las figs. 32 - 34 y en la tabla 8. Los niveles en selenio (< 50 µg/l), talio (< 30 µg/l) y antimonio (< 50 µg/l) estuvieron bajo los niveles detectables, y en consecuencia bajo los niveles dañinos o crónicos para la biota.

### ***Arsénico***

La concentración de arsénico registra valores superiores a los referenciales (26 µl y 1 µl en agua de mar y dulce respectivamente) (fig. 35 y tabla 8). Esto es más marcado en las muestras tomadas en invierno. No obstante, valores extremos corresponden a las muestras de otoño e invierno Rio Salado (fig. 35), y en menor grado la muestra de Chañaral sur de primavera (tabla 8). De hecho, la concentración de 1730 µg/l en la muestra de Rio Salado en otoño es excesivamente alta al contrastarla con valores de 30 µg/l que se encuentran en ríos de la zona norte de Chile, valores que ya son altos para este tipo de agua. Algo similar ocurre con las muestras de agua de mar. Si se comparan con el nivel de arsénico en agua de mar en torno a 26 µg/l, el nivel de arsénico basal se puede considerar alto para agua de mar y puede ser un factor que incida negativamente en la biota del sector (Mance *et al* 1984, Smith and Edwards, 1992), teniendo en consideración concentraciones límite que ejercen efectos negativos a partir de 25 µg/l.

### ***Litio***

La composición de litio es mostrada en la figura 36 y tabla 8. La concentración de litio en las muestras de agua estudiadas se presenta en niveles normales para agua de mar (145 a 260 ug/l). Excepciones son las muestras de Rio Salado en las cuatro estaciones del año evaluadas, que sobrepasan con creces los niveles referenciales para cuerpos de agua. Estos altos niveles de litio no deberían estar relacionados con material en suspensión, por lo que se deberían presentar principalmente en forma disuelta.

Tabla 7. Variación mensual de la temperatura en las localidades de Pan de Azúcar, río Salado, Chañaral norte, Chañaral sur, Barquito, y las Lisas.

Meses	Temperatura (°C)						
	Pan de Azúcar	Río Salado	Chañaral norte	Chañaral sur	Barquito	Las Pocitas	Las Lisas
<b>Ago</b>	15,6	14	16,1	15	15,1	14	14,6
<b>Sept</b>	15,7	-	17	16,2	-	15	15,2
<b>Oct</b>	15,6	15,2	17,5	17,1	16,8	15,3	15,5
<b>Nov</b>	15,8	-	16,3	17,9	-	16,5	14,5
<b>Dic</b>	16,9	-	17,8	18,2	-	20,5	21,2
<b>Ene</b>	17,6	16	19,4	19,6	18,3	19	19,4
<b>Feb</b>	18,5	-	20	20	-	17,2	18
<b>Mar</b>	18,1	-	18,7	19,4	-	16,4	17,6
<b>Abr</b>	17,3	13,9	17	18,1	16,1	16,1	16,9
<b>May</b>	16,2	-	16,3	17	-	15	16,1
<b>Jun</b>	15,4	-	15,9	16,3	-	14,6	15,2

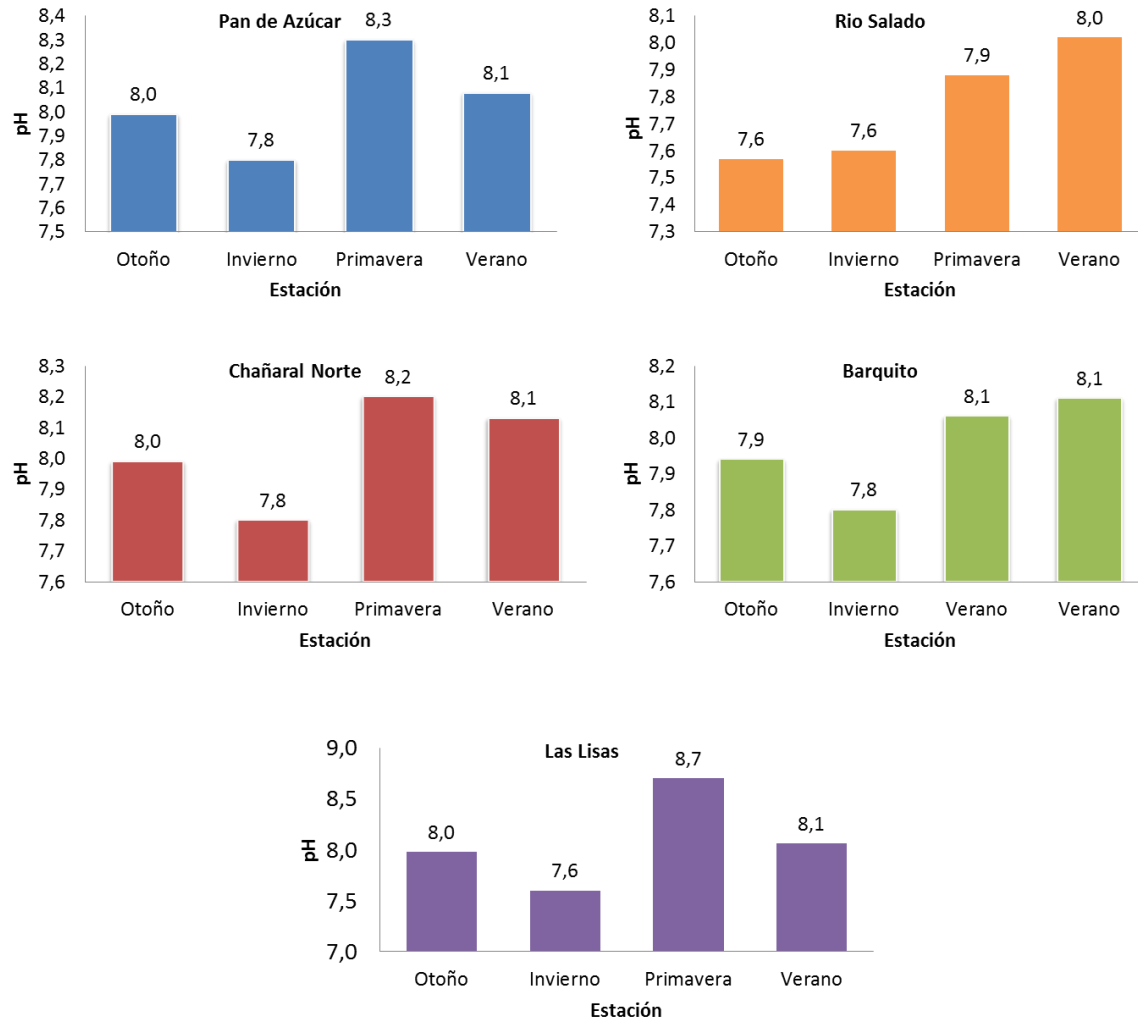


Fig. 2. Variación estacional del potencial de hidrogeno (pH) en Pan de Azúcar, Río Salado, Chañaral norte, Barquito y Las Lisas.



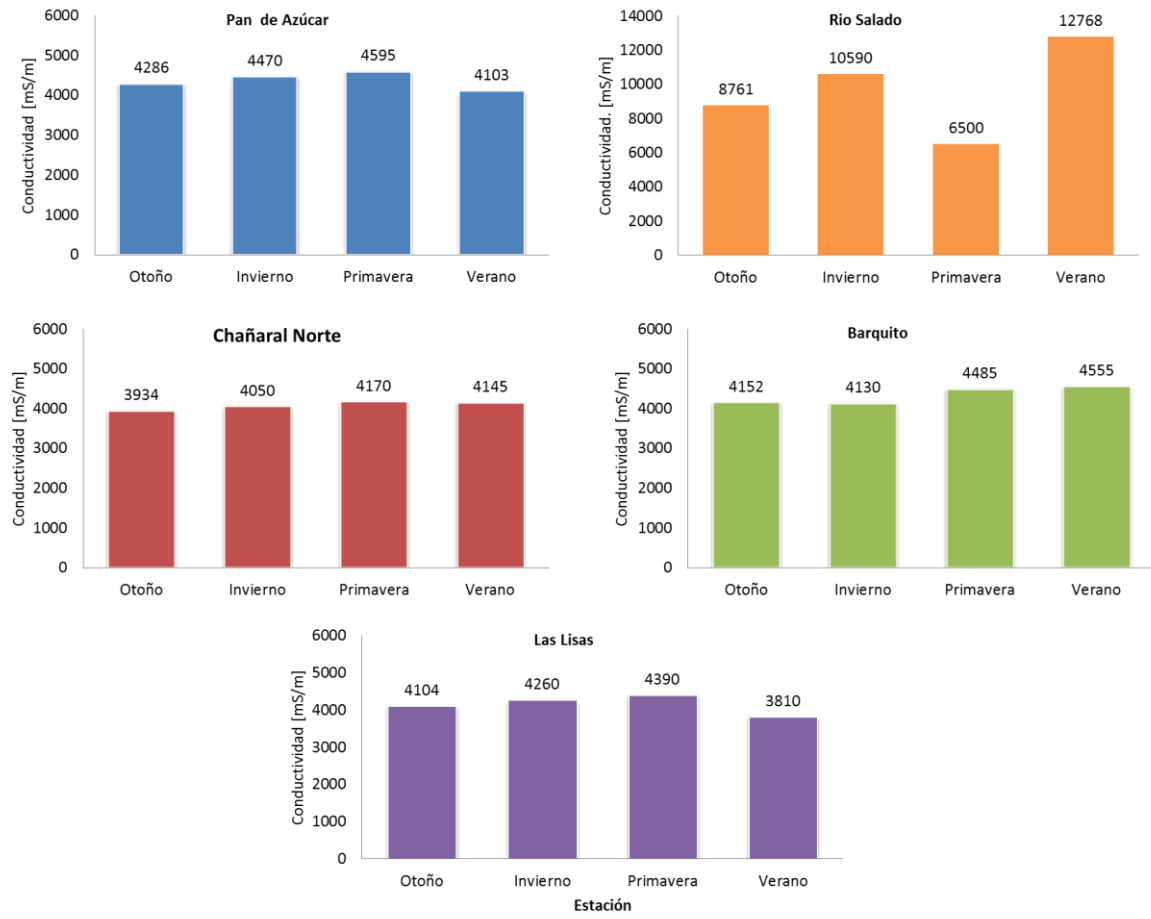


Fig. 3. Variación estacional de la conductividad (ms/m) en Pan de Azúcar, Río Salado, Chañaral norte, Barquito y Las Lisas.

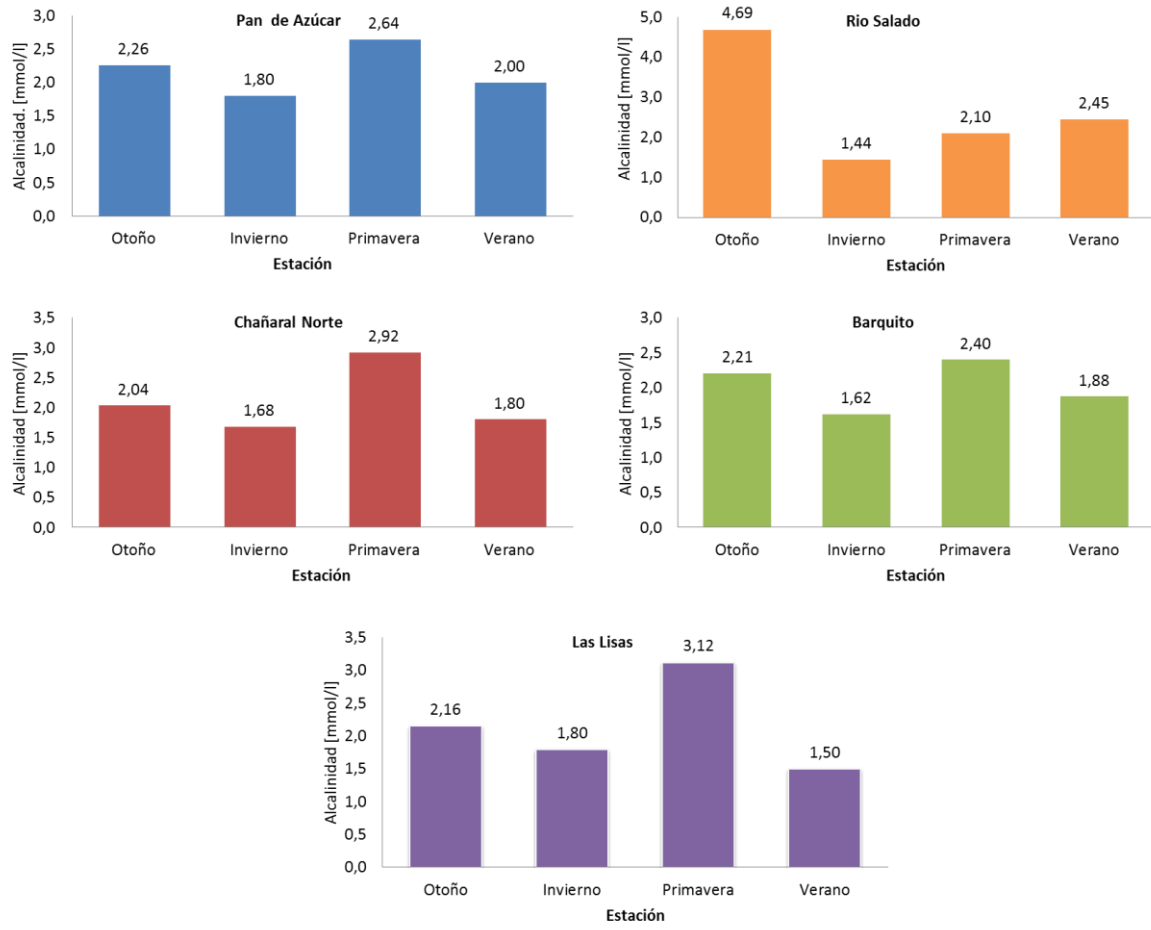


Fig. 4. Variación estacional de la alcalinidad (mmol/L) en Pan de Azúcar, Río Salado, Chañaral norte, Barquito y Las Lisas.

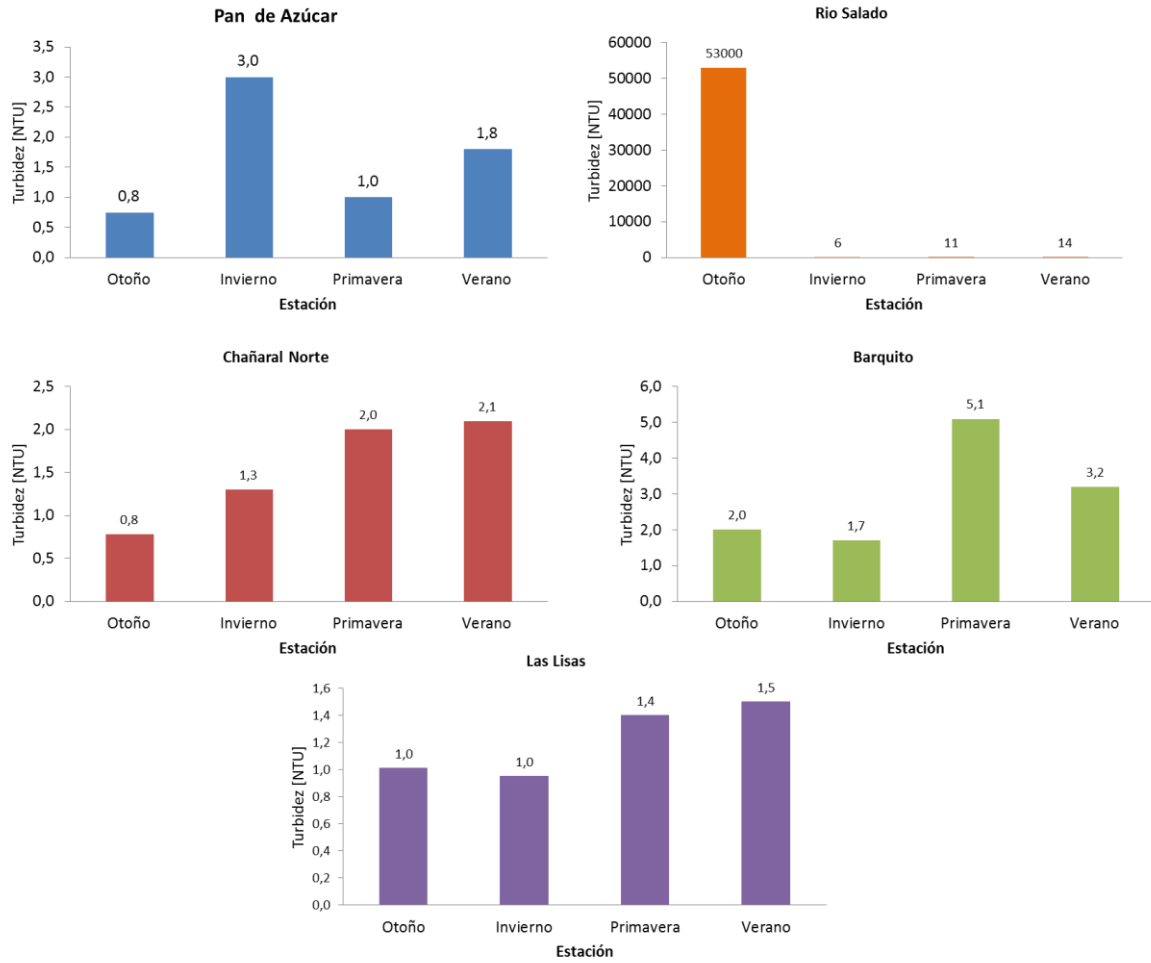


Fig. 5. Variación estacional de la turbidez en unidades de turbidez nefelométricas (NTU) en Pan de Azúcar, Río Salado, Cañaral norte, Barquito y Las Lisas.

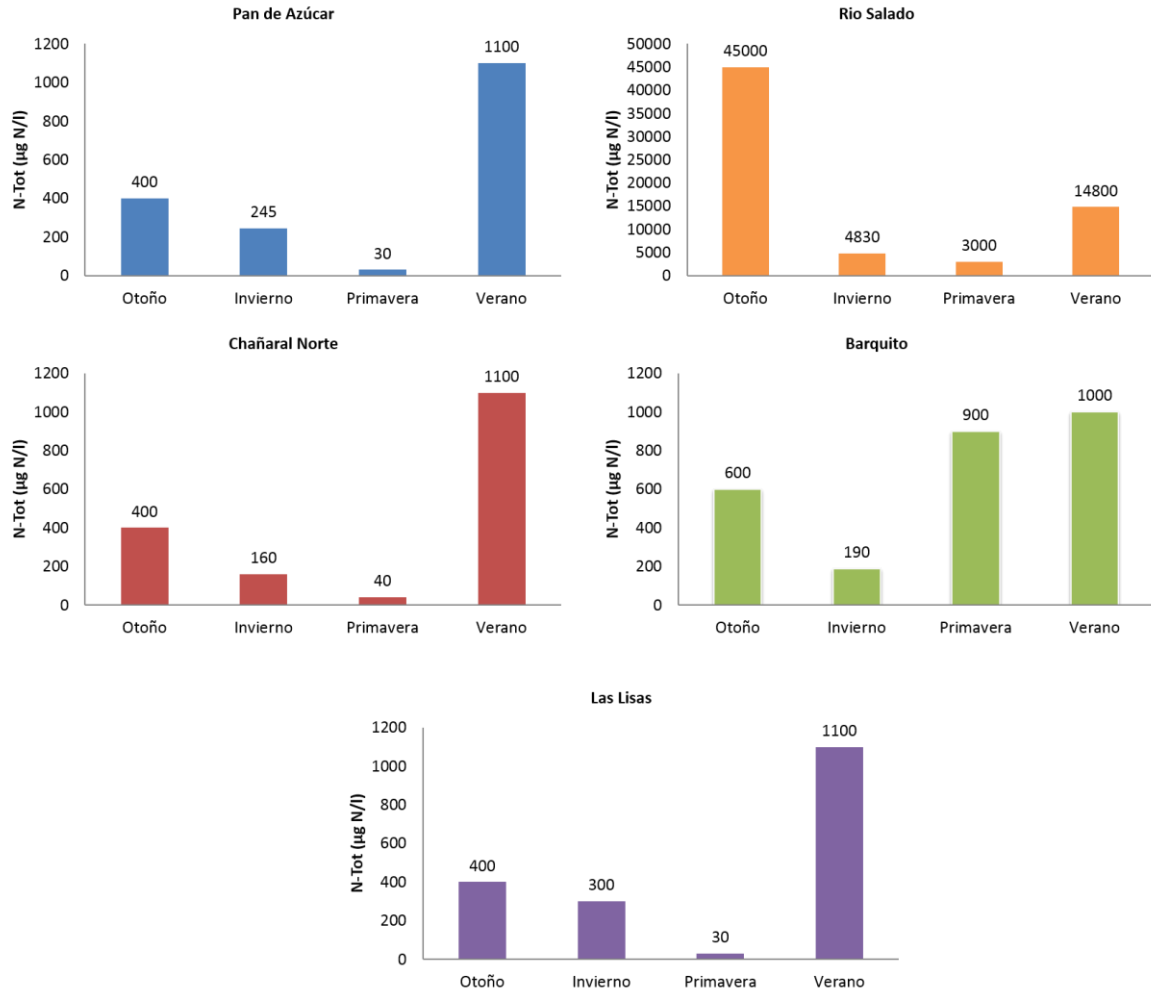


Fig. 6. Variación estacional del nitrógeno total (µg/L) en Pan de Azúcar, Rio Salado, Chañaral norte, Barquito y Las Lisas.

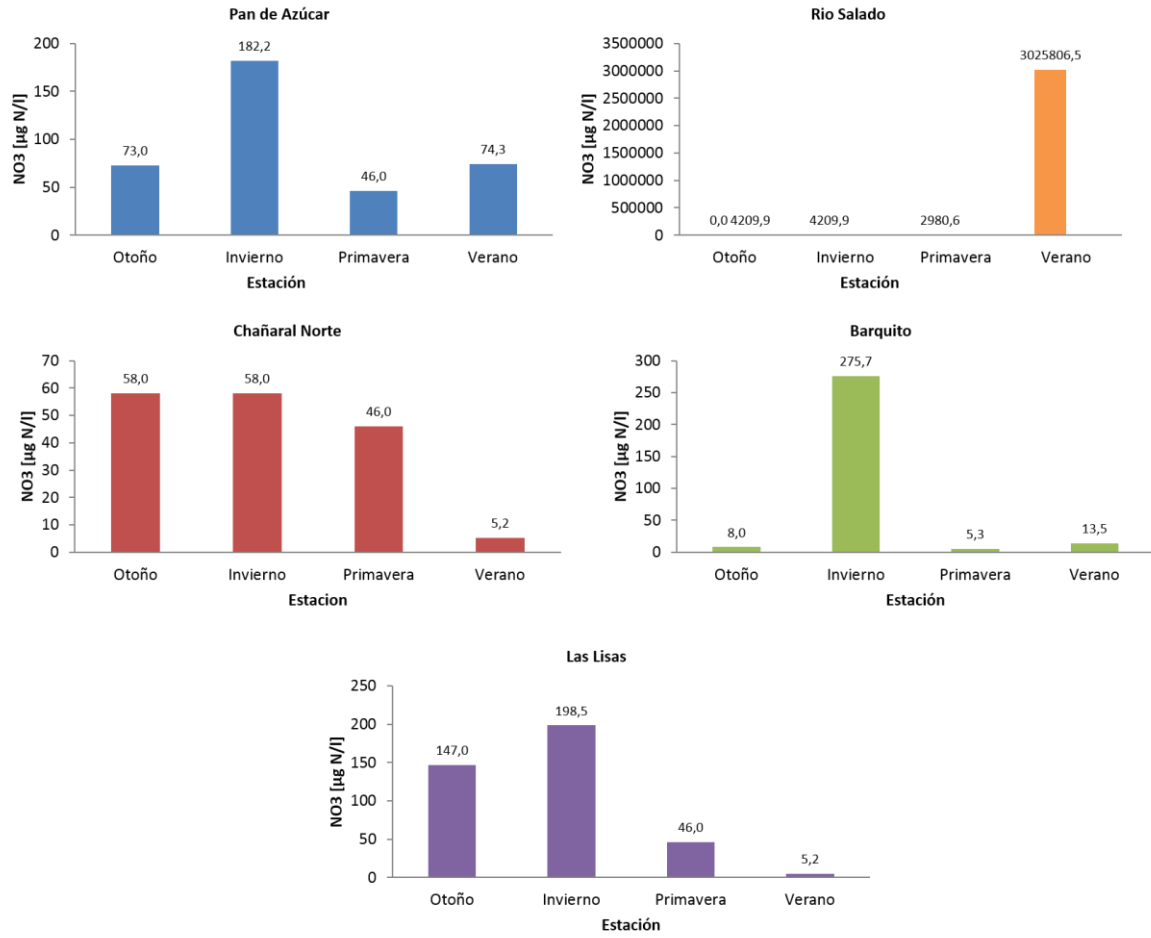


Fig. 7. Variación estacional del nitrato (µg/L) en Pan de Azúcar, Rio Salado, Cañaral norte, Barquito y Las Lisas.

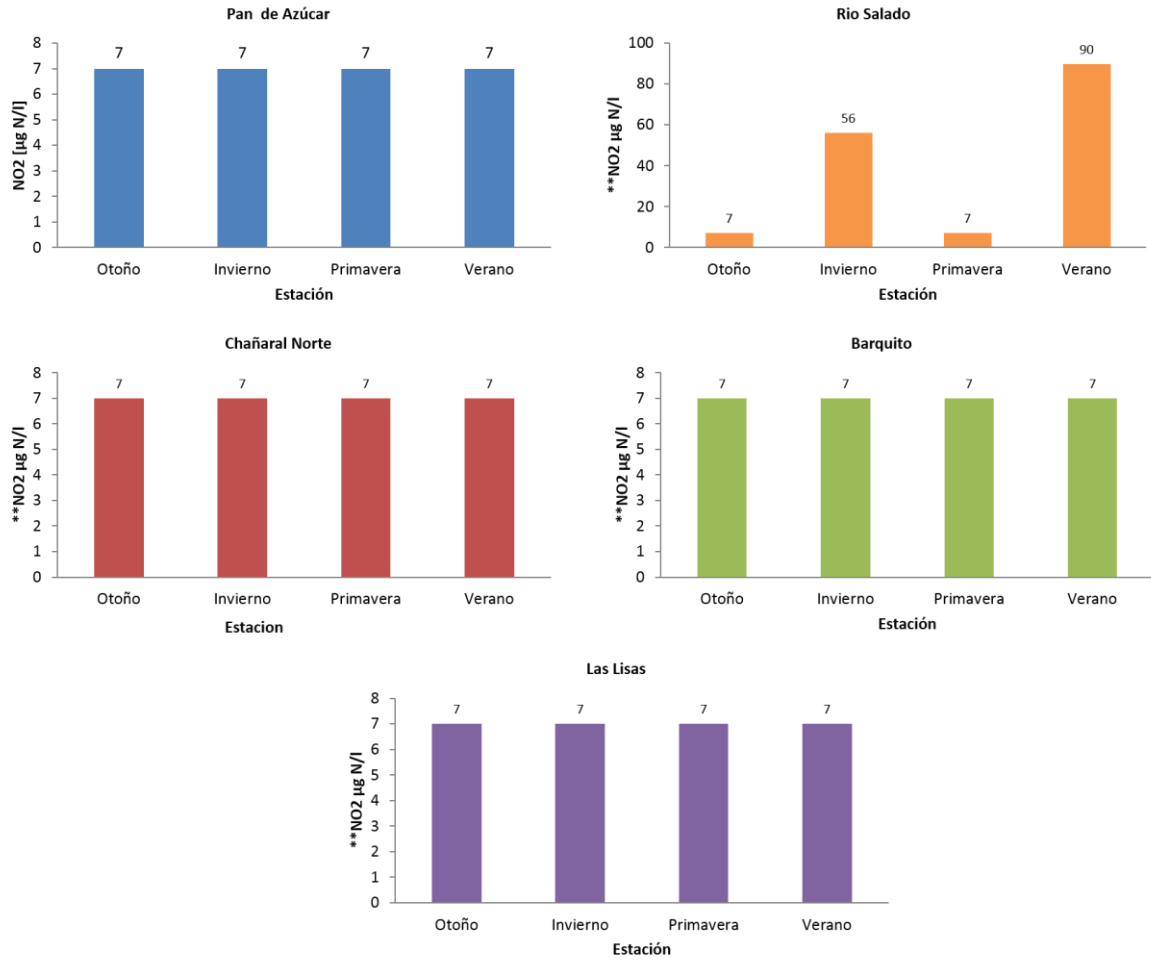


Fig. 8. Variación estacional del nitrito ( $\mu\text{g/L}$ ) en Pan de Azúcar, Rio Salado, Chañaral norte, Barquito y Las Lisas.

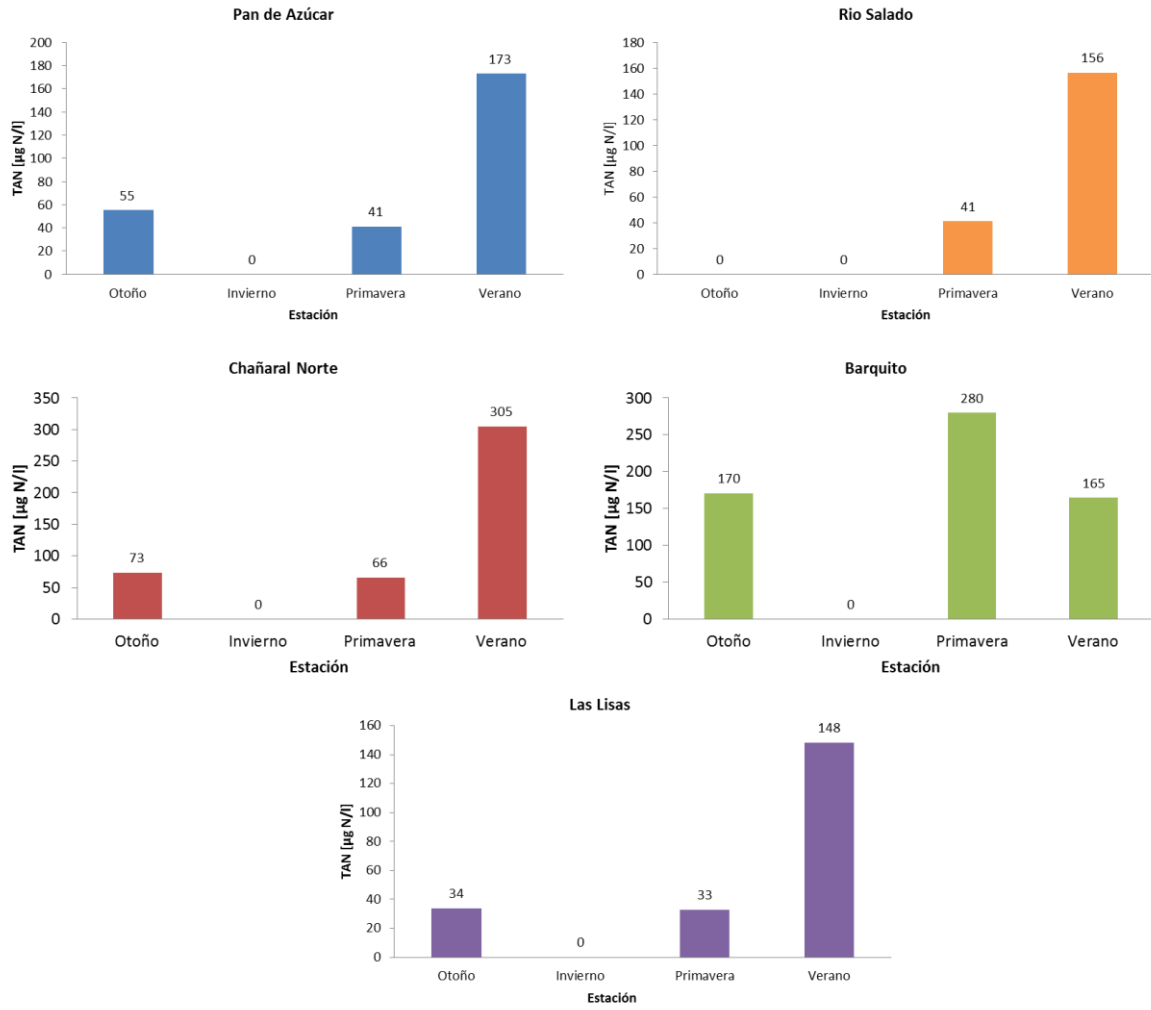


Fig. 9. Variación estacional del nitrógeno amoniacal total ( $\mu\text{g/L}$ ) en Pan de Azúcar, Río Salado, Chañaral norte, Barquito y Las Lisas.

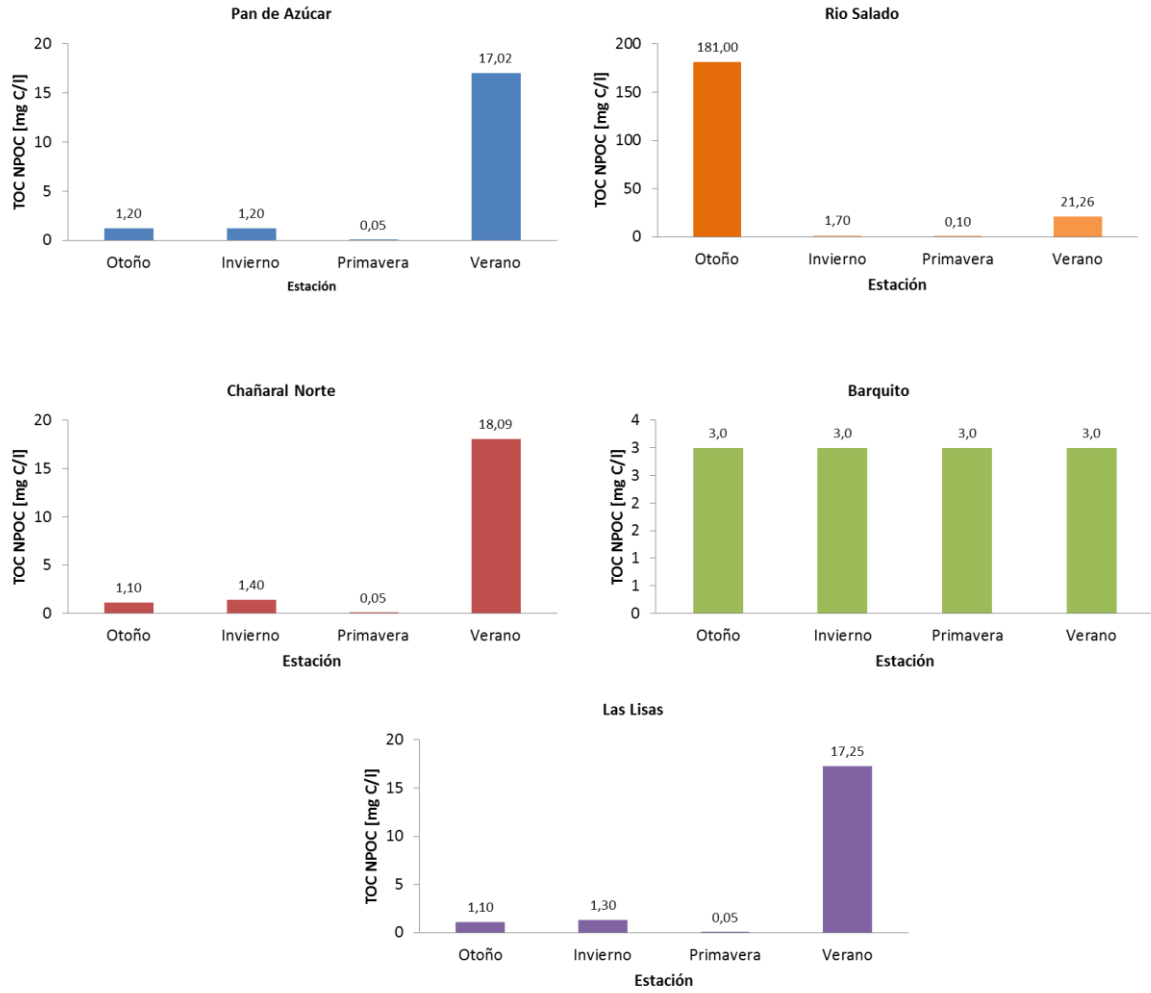


Fig. 10. Variación estacional del carbono orgánico no purgable (NPOC) o carbono orgánico total (TOC) (mg C/L) en Pan de Azúcar, Río Salado, Chañaral norte, Barquito y Las Lisas.



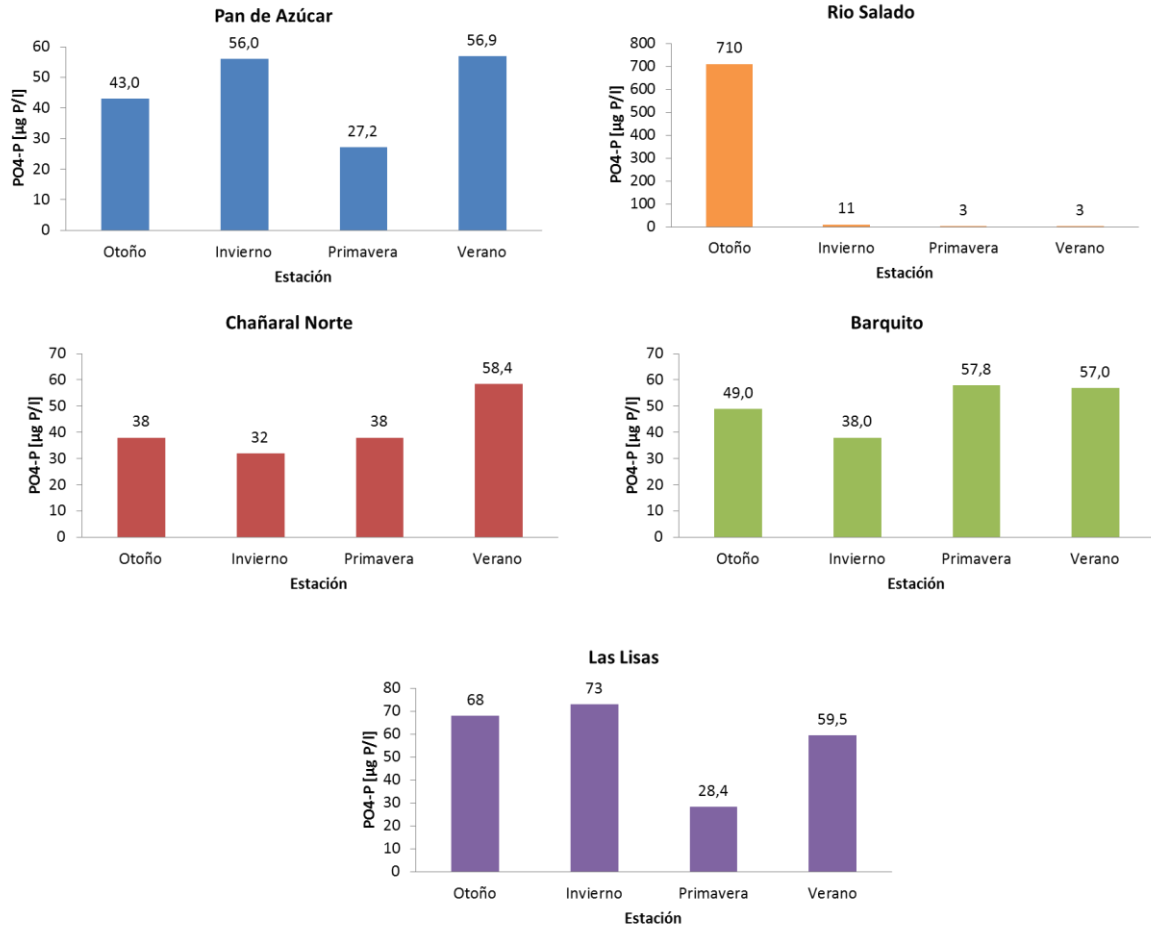


Fig. 11. Variación estacional del ortofosfato (µg/L) en Pan de Azúcar, Río Salado, Cañaral norte, Barquito y Las Lisas.

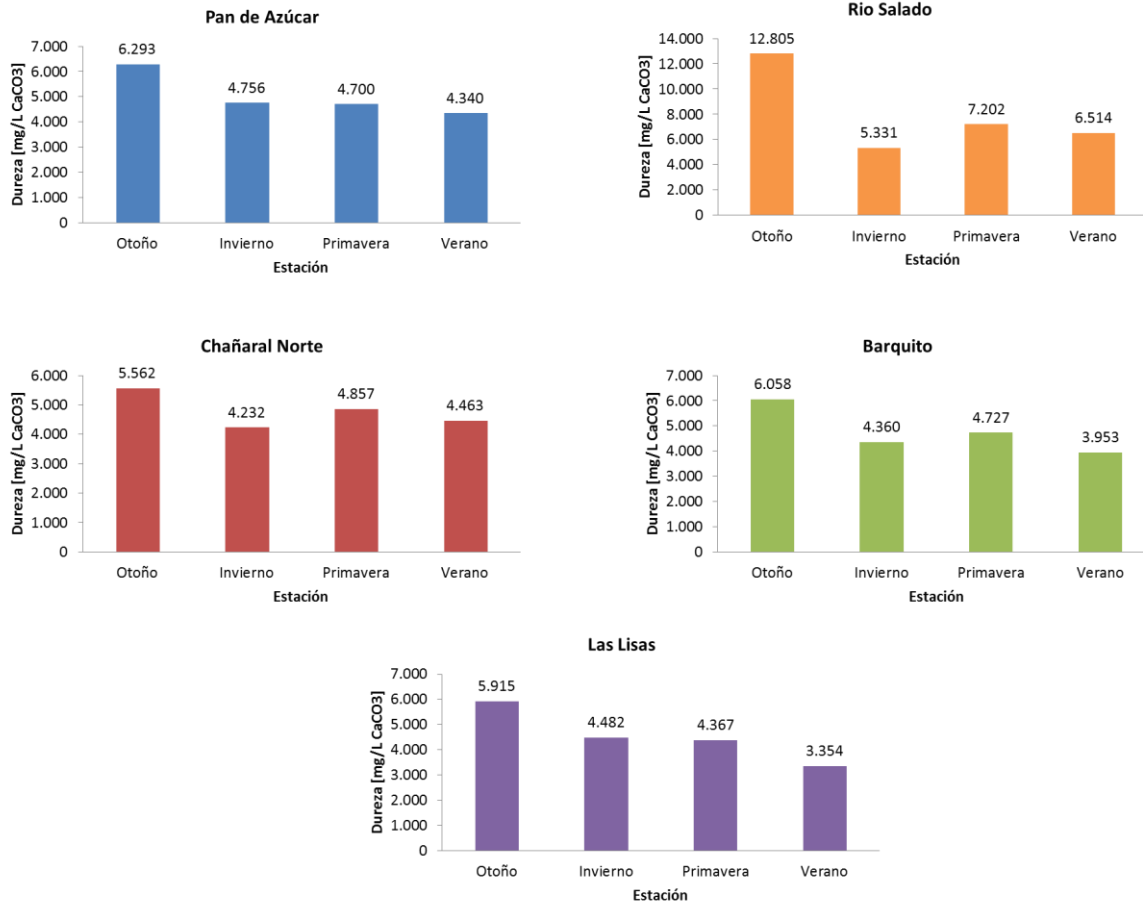


Fig. 12. Variación estacional de la dureza (mg/L CaCO<sub>3</sub>) en Pan de Azúcar, Río Salado, Chañaral norte, Barquito y Las Lisas.

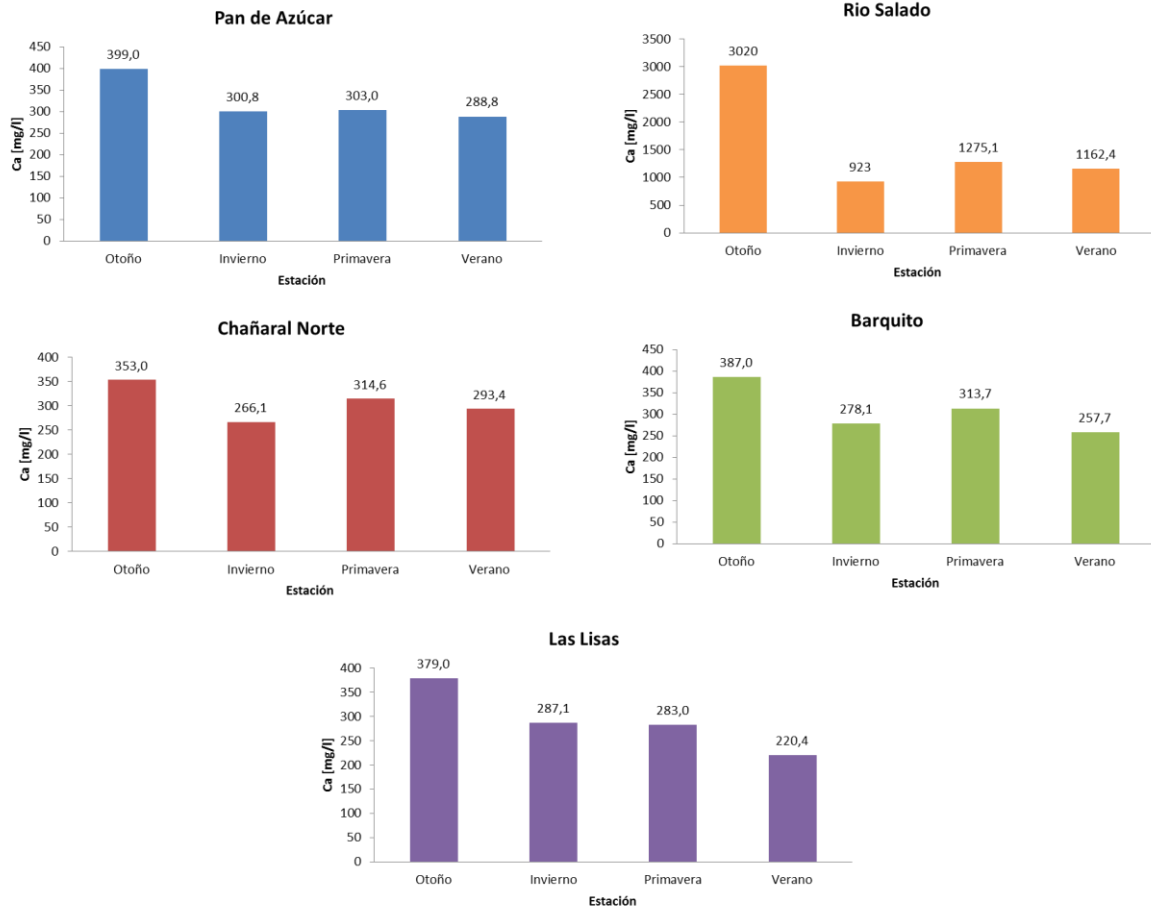


Fig. 13. Variación estacional del calcio (mg/L) en Pan de Azúcar, Río Salado, Chañaral norte, Barquito y Las Lisas.

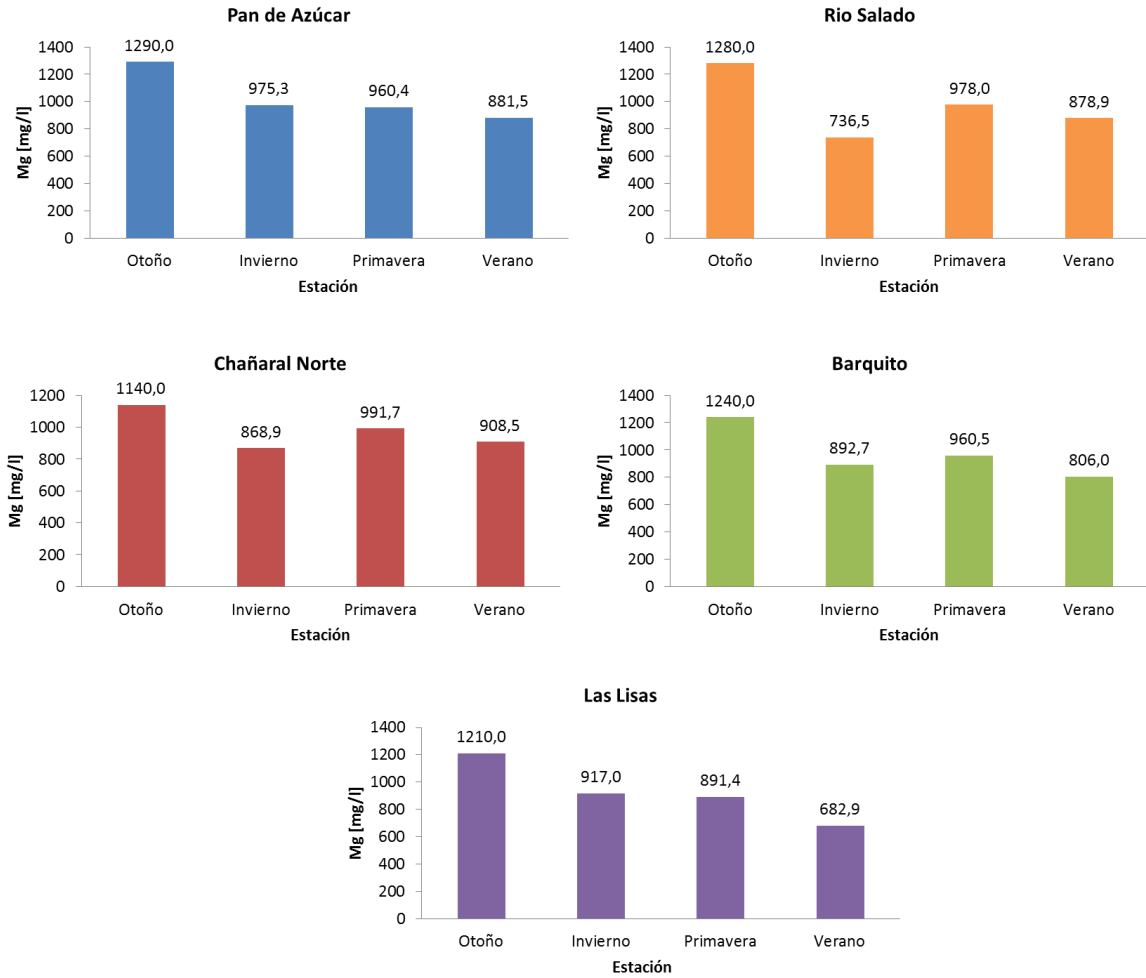


Fig. 14. Variación estacional del magnesio ( $\mu\text{g/L}$ ) en Pan de Azúcar, Río Salado, Cañaral norte, Barquito y Las Lisas.

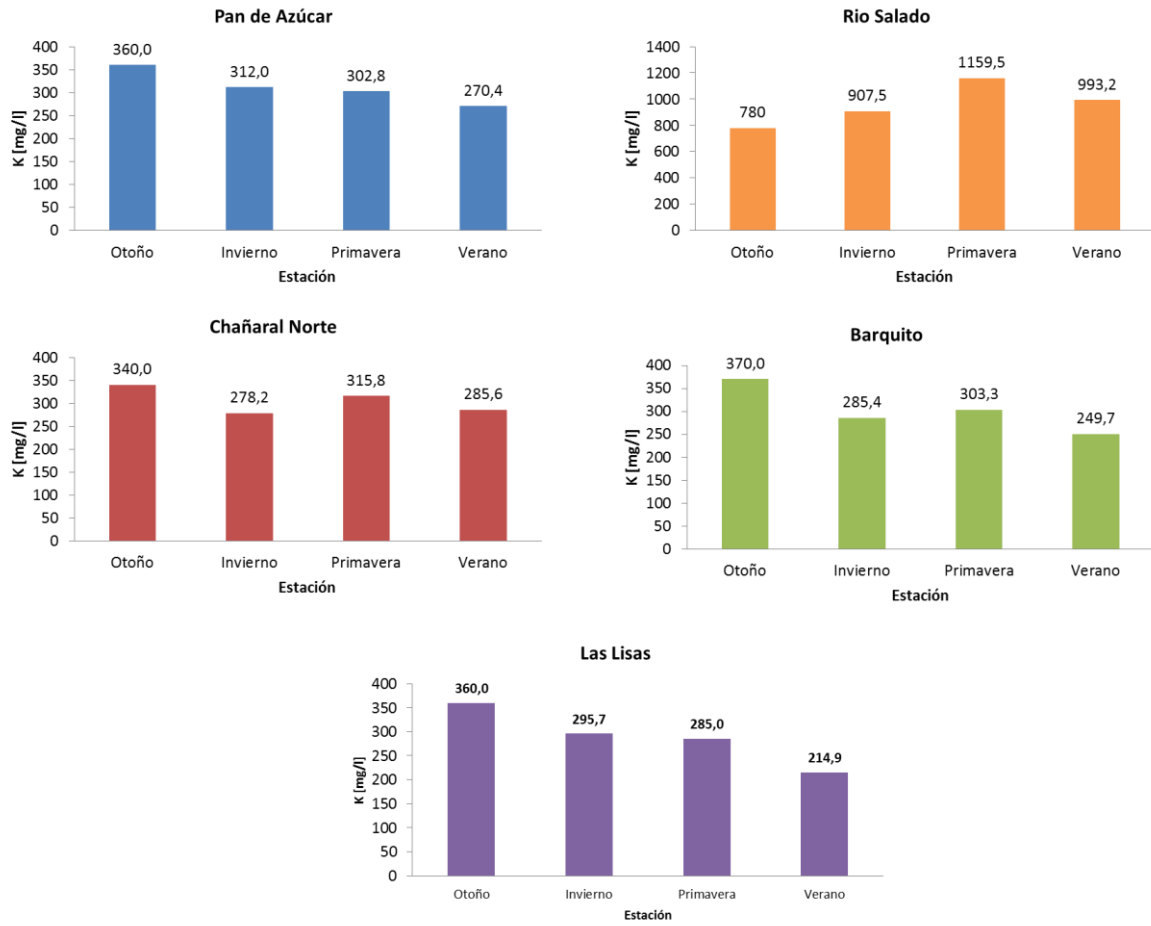


Fig. 15. Variación estacional del potasio (mg/L) en Pan de Azúcar, Río Salado, Cañaral norte, Barquito y Las Lisas.

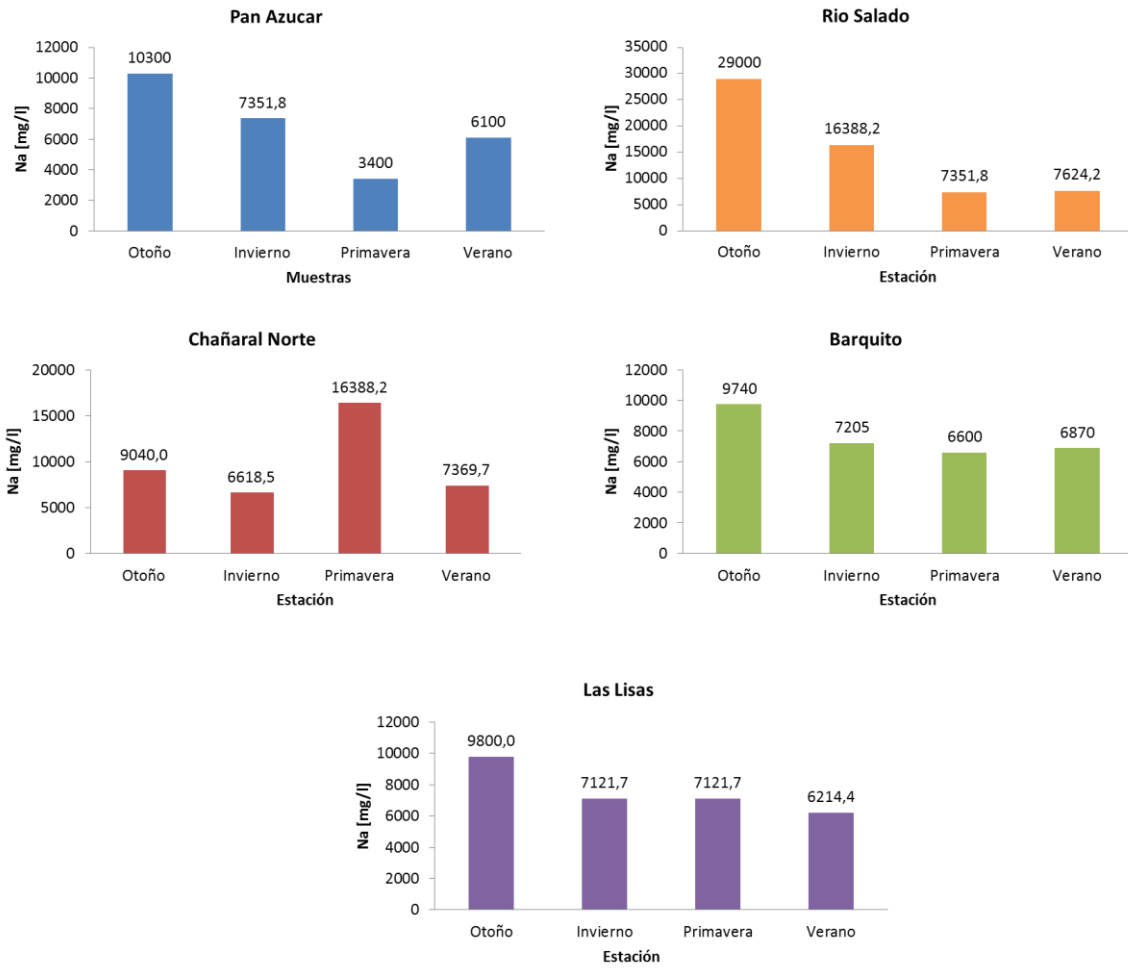


Fig. 16. Variación estacional del sodio (mg/L) en Pan de Azúcar, Rio Salado, Chañaral norte, Barquito y Las Lisas.

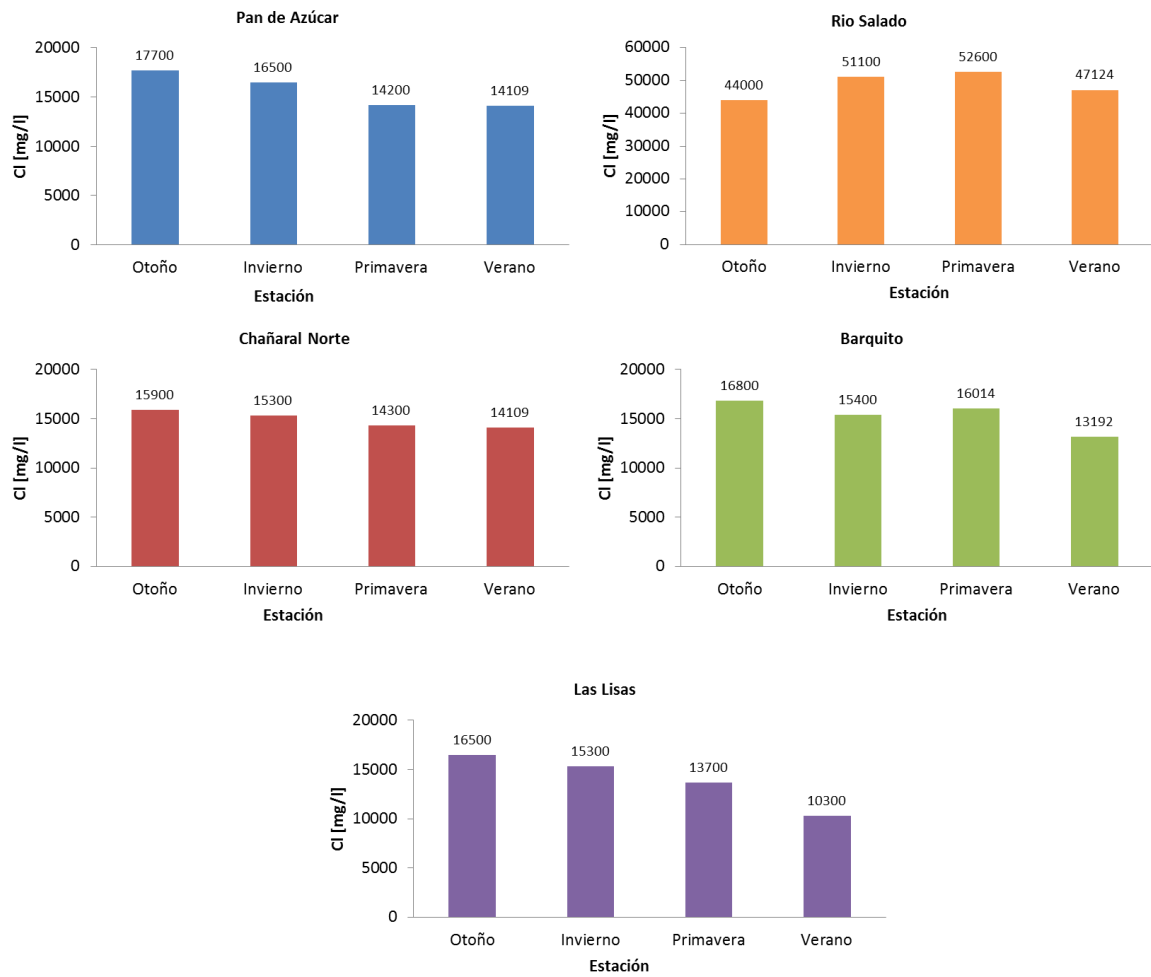


Fig. 17. Variación estacional del cloro (mg/L) en Pan de Azúcar, Río Salado, Chañaral norte, Barquito y Las Lisas.

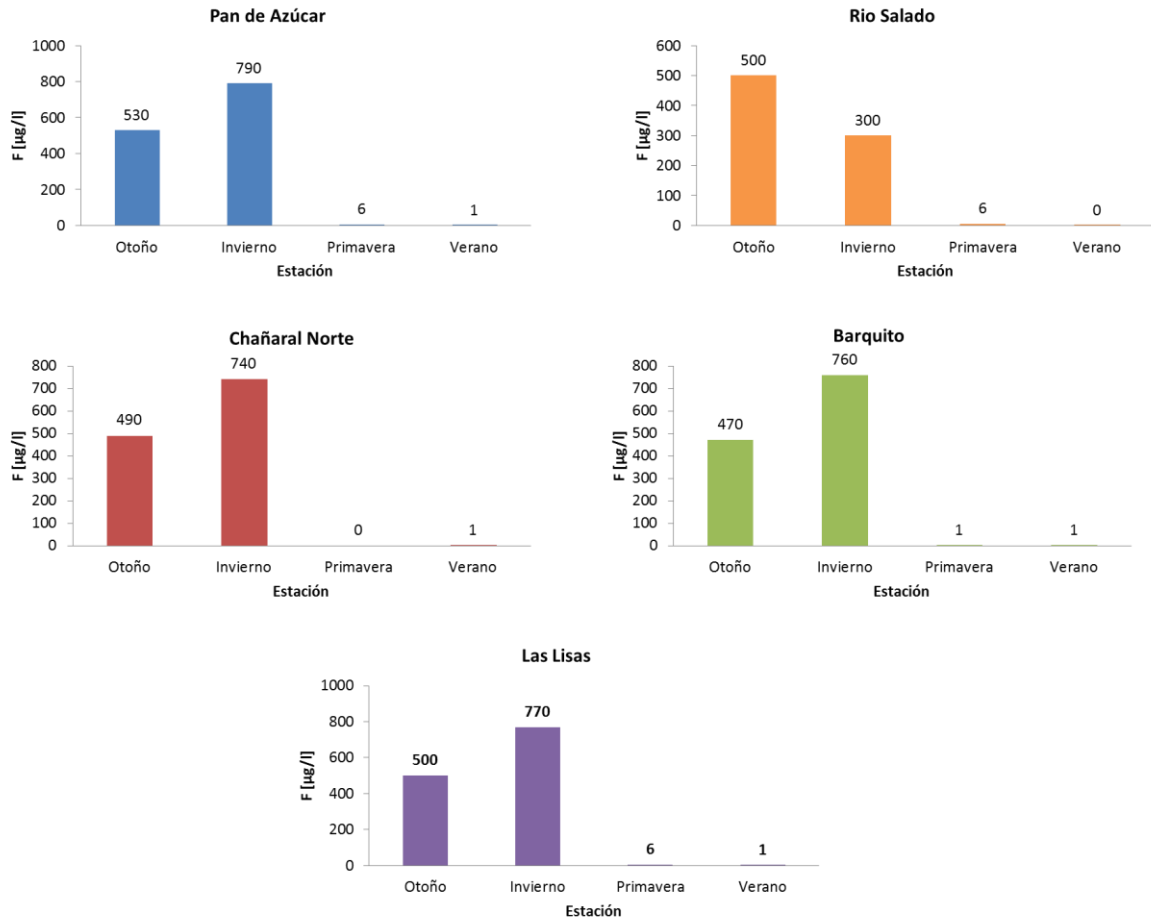


Fig. 18. Variación estacional del flúor ( $\mu\text{g/L}$ ) en Pan de Azúcar, Rio Salado, Chañaral norte, Barquito y Las Lisas.



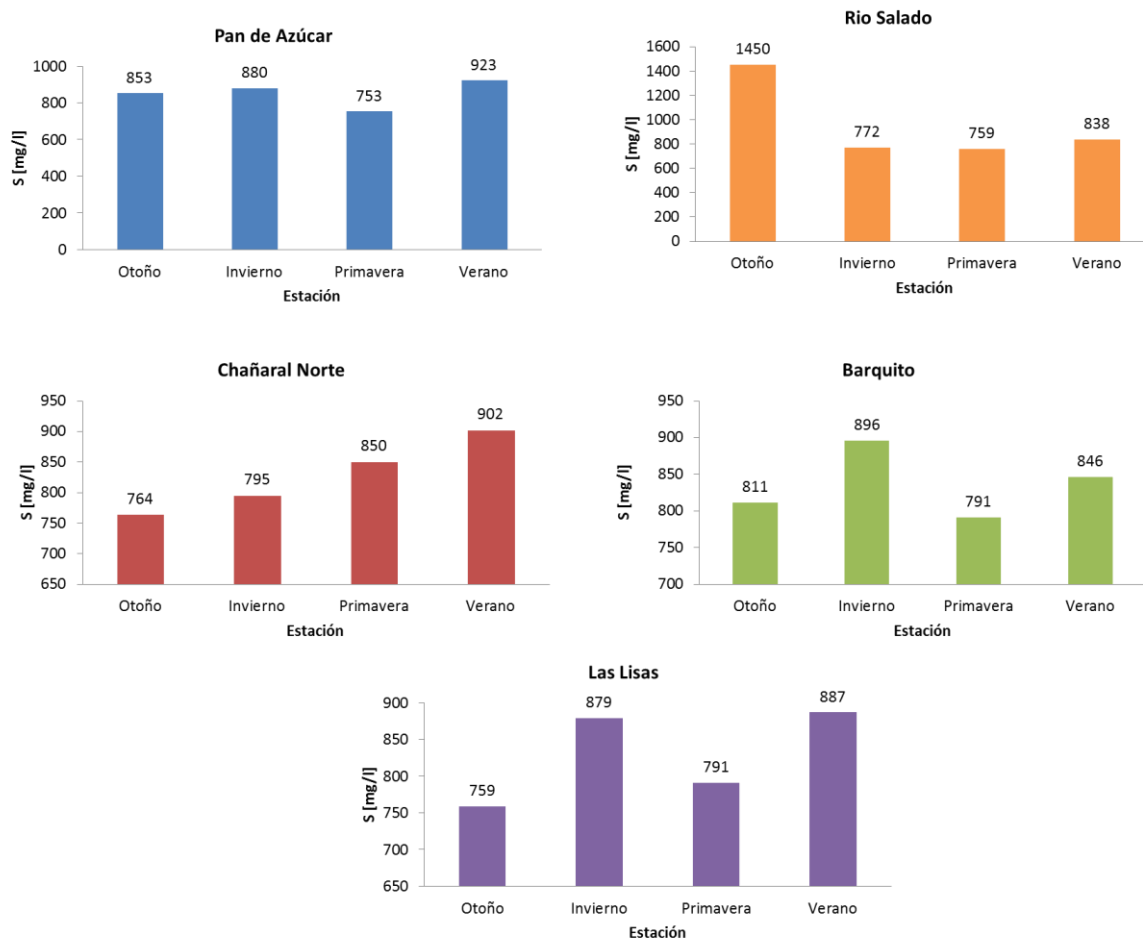


Fig. 19. Variación estacional del azufre (mg/L) en Pan de Azúcar, Río Salado, Cañaral norte, Barquito y Las Lisas.

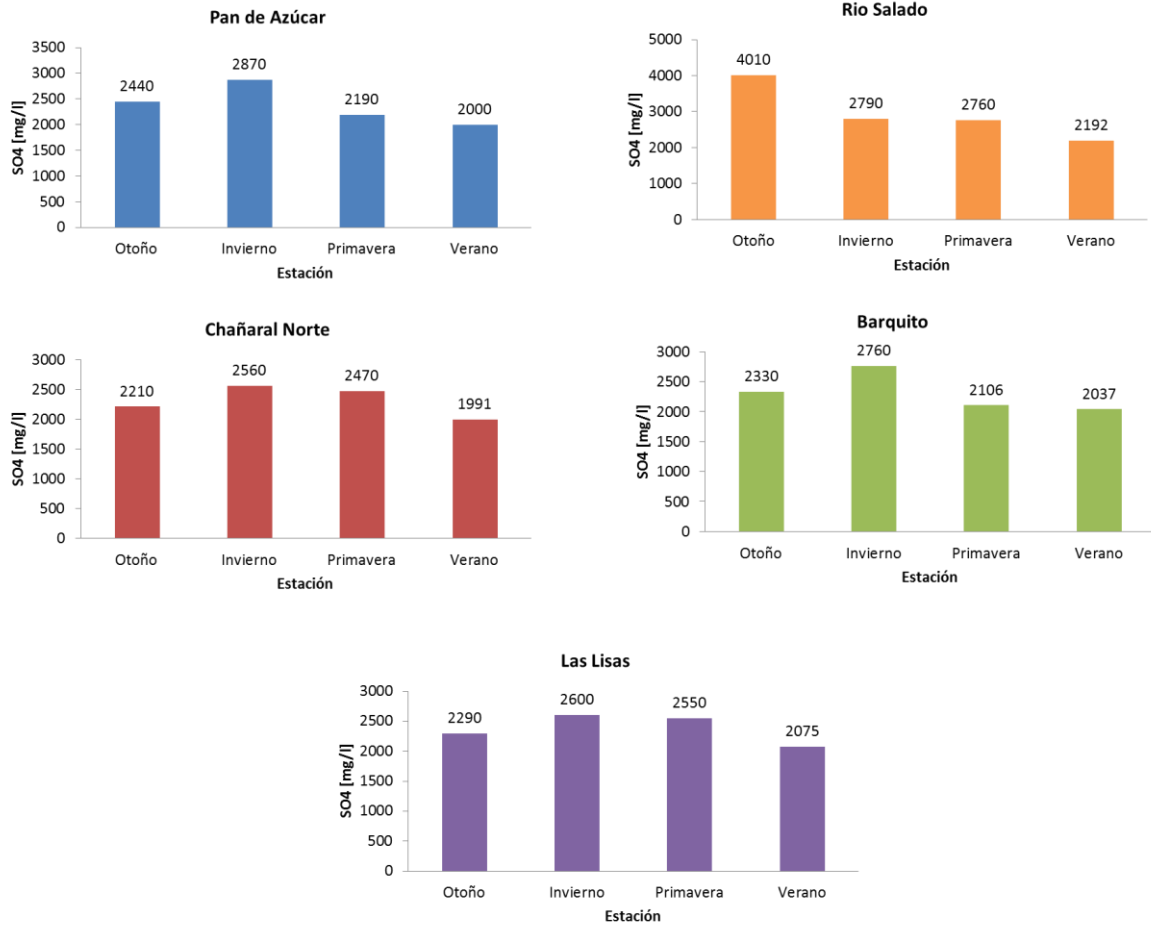


Fig. 20. Variación estacional del sulfato (mg/L) en Pan de Azúcar, Rio Salado, Chañaral norte, Barquito y Las Lisas.

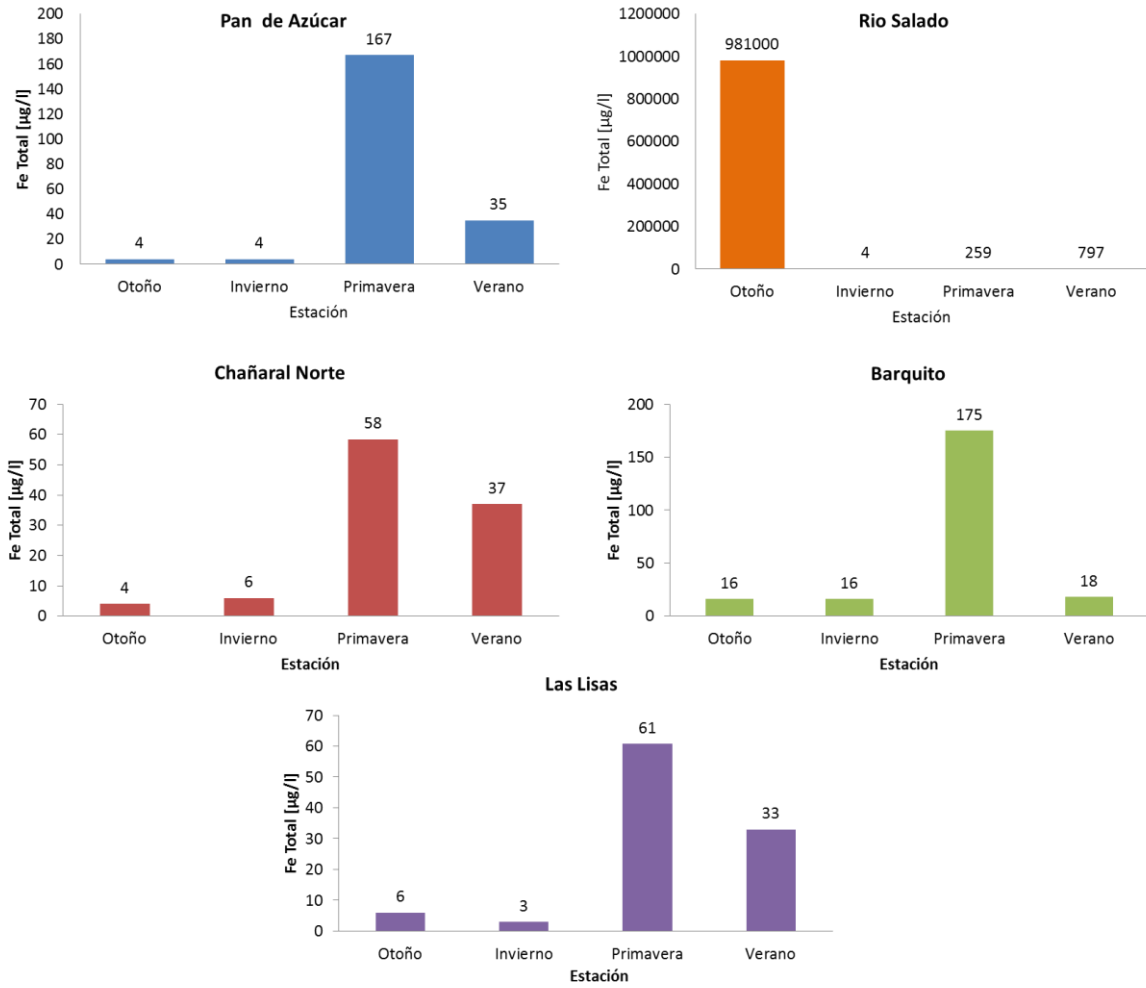


Fig. 21. Variación estacional del hierro ( $\mu\text{g/L}$ ) en Pan de Azúcar, Río Salado, Chañaral norte, Barquito y Las Lisas.

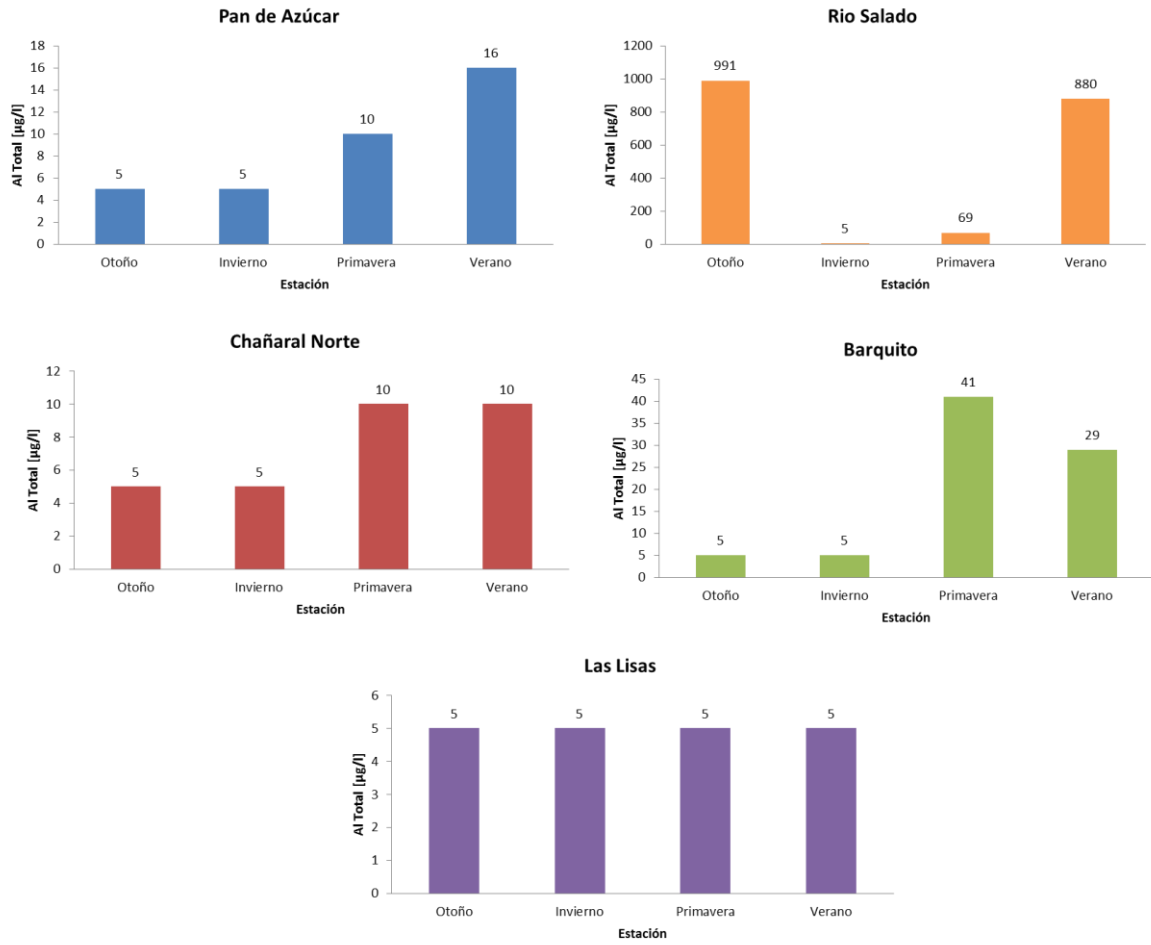


Fig. 22. Variación estacional del aluminio ( $\mu\text{g/L}$ ) en Pan de Azúcar, Río Salado, Chañaral norte, Barquito y Las Lisas.

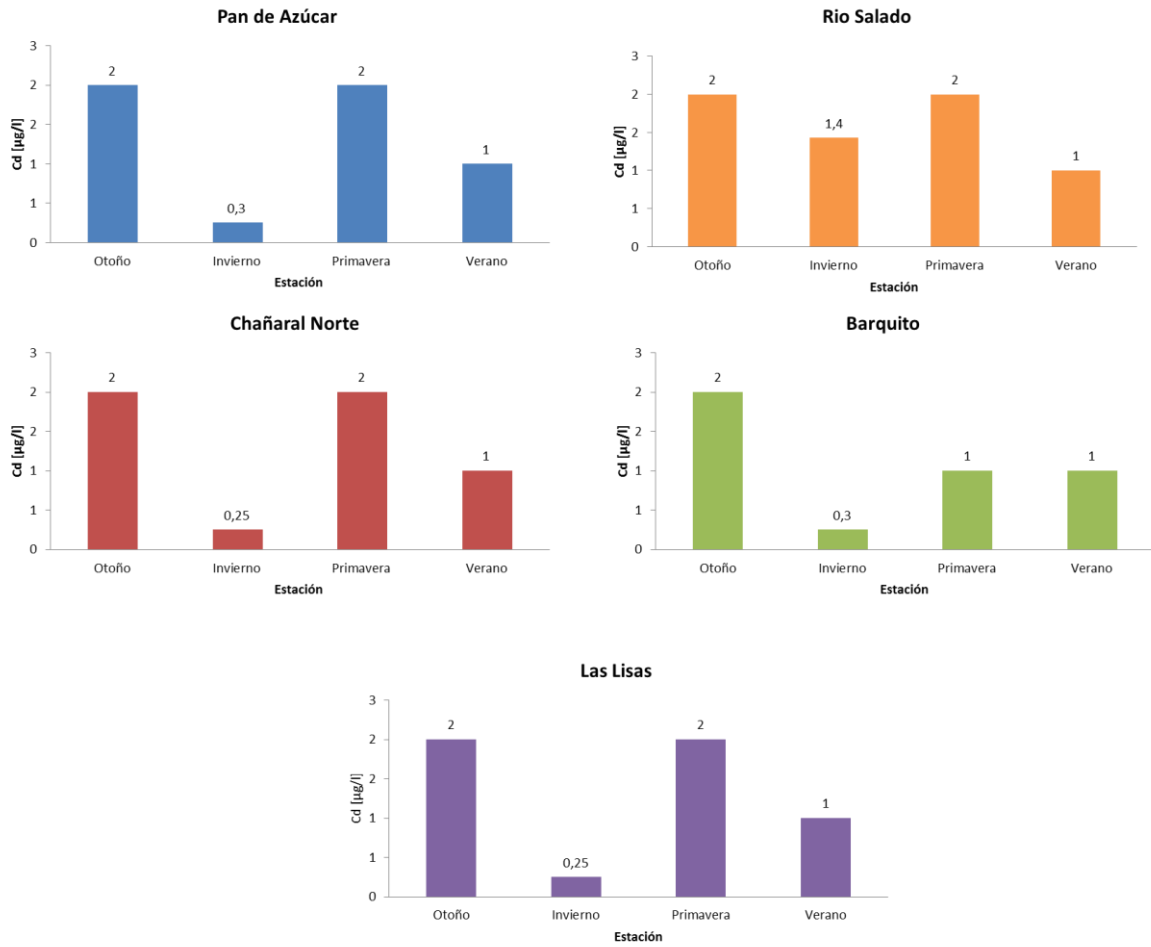


Fig. 23. Variación estacional del cadmio ( $\mu\text{g/L}$ ) en Pan de Azúcar, Río Salado, Cañaral norte, Barquito y Las Lisas.

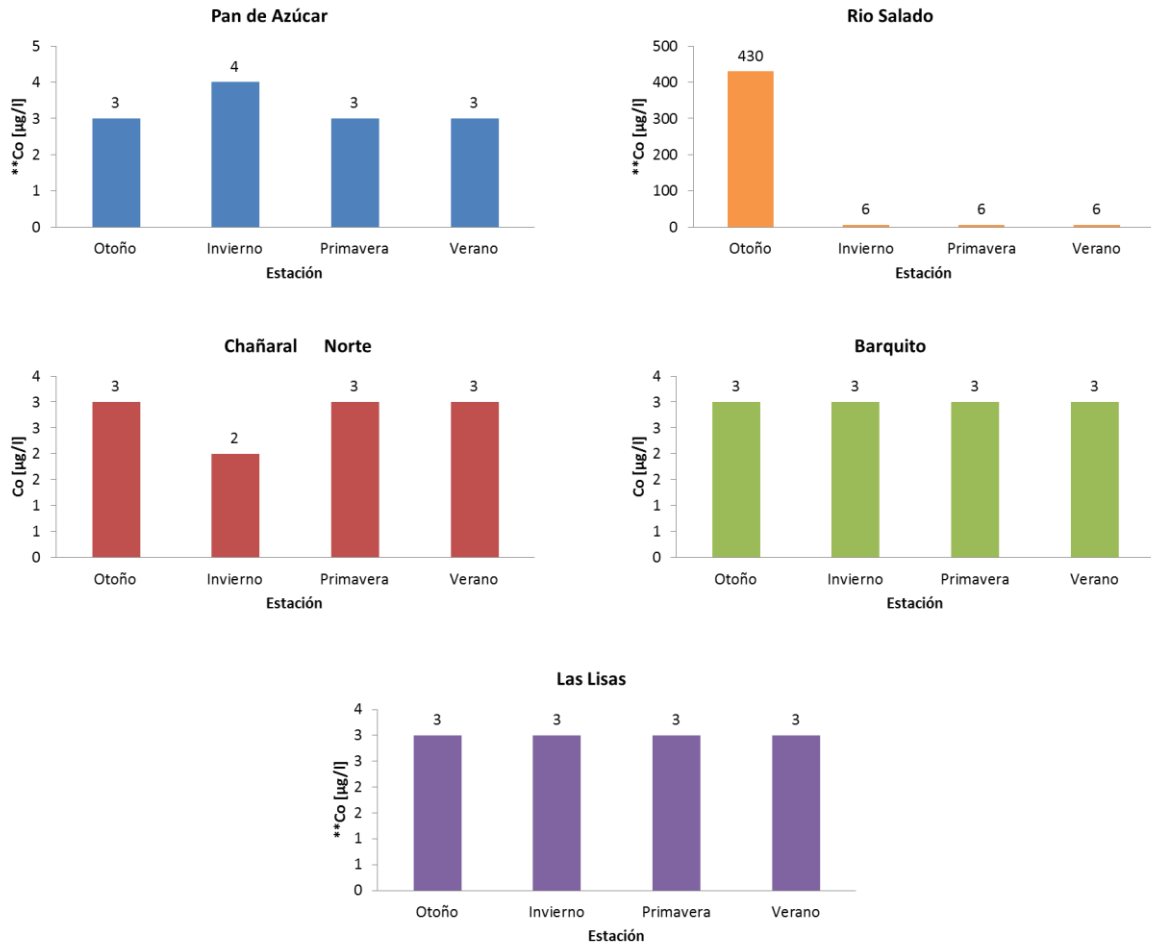


Fig. 24. Variación estacional del cobalto ( $\mu\text{g/L}$ ) en Pan de Azúcar, Río Salado, Chañaral norte, Barquito y Las Lisas.

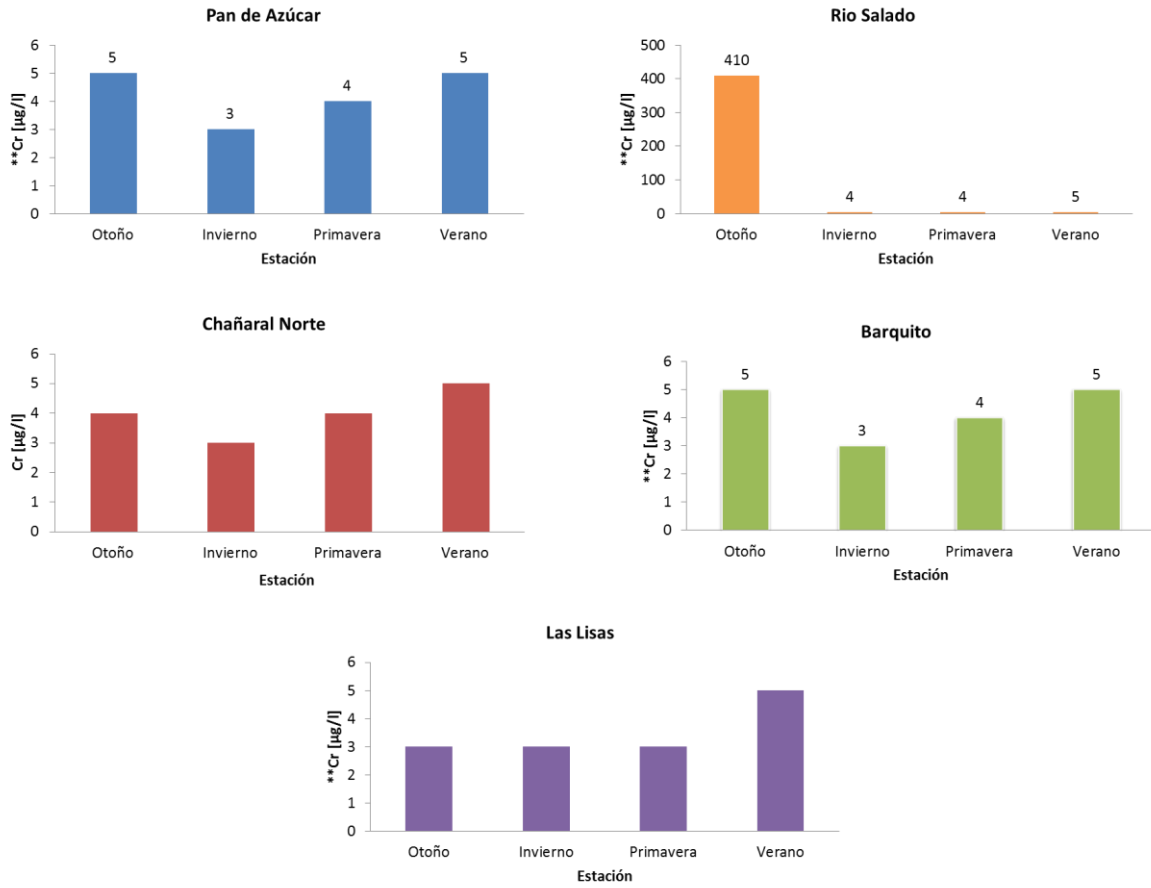


Fig. 25. Variación estacional del cromo ( $\mu\text{g/L}$ ) en Pan de Azúcar, Rio Salado, Cañaral norte, Barquito y Las Lisas.

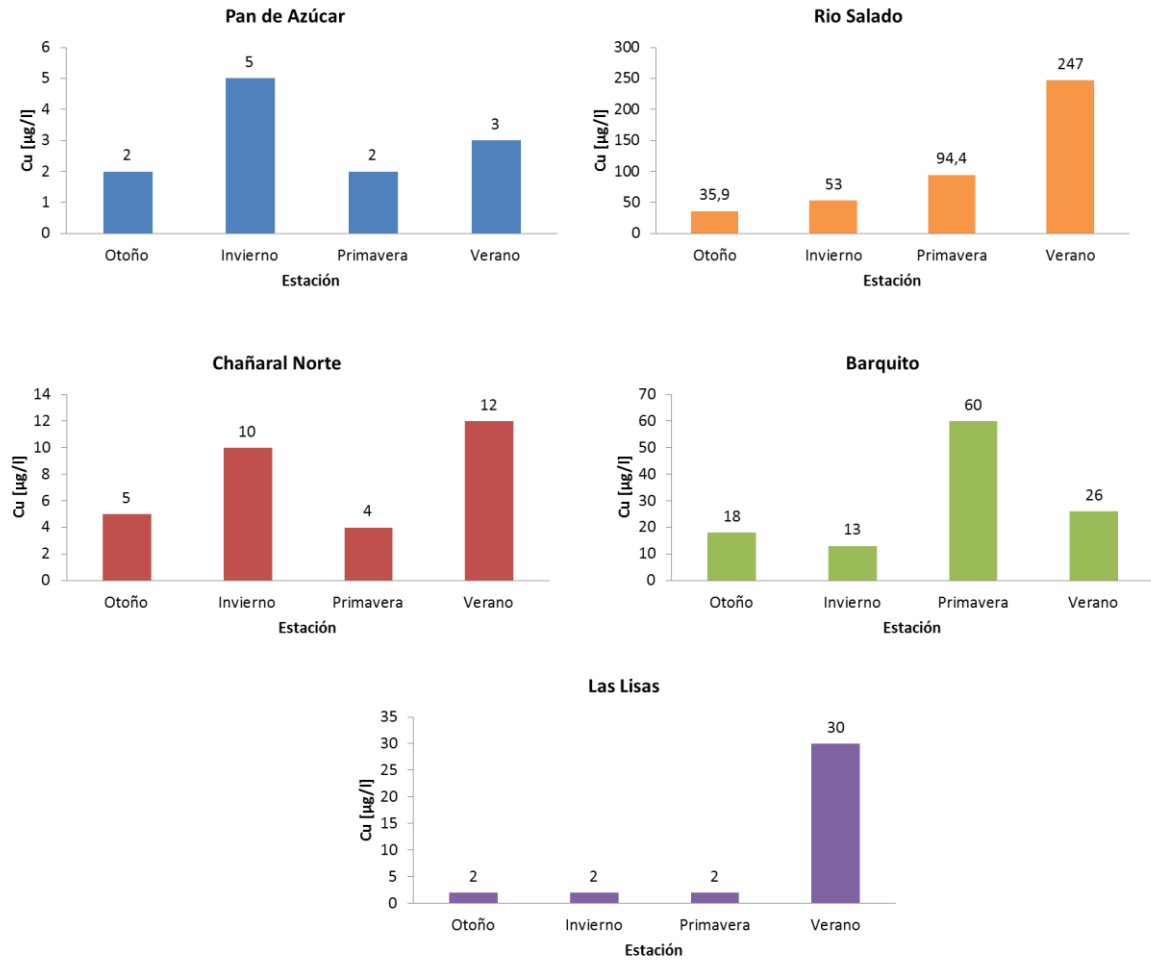


Fig. 26. Variación estacional del cobre ( $\mu\text{g/L}$ ) en Pan de Azúcar, Río Salado, Chañaral norte, Barquito y Las Lisas.



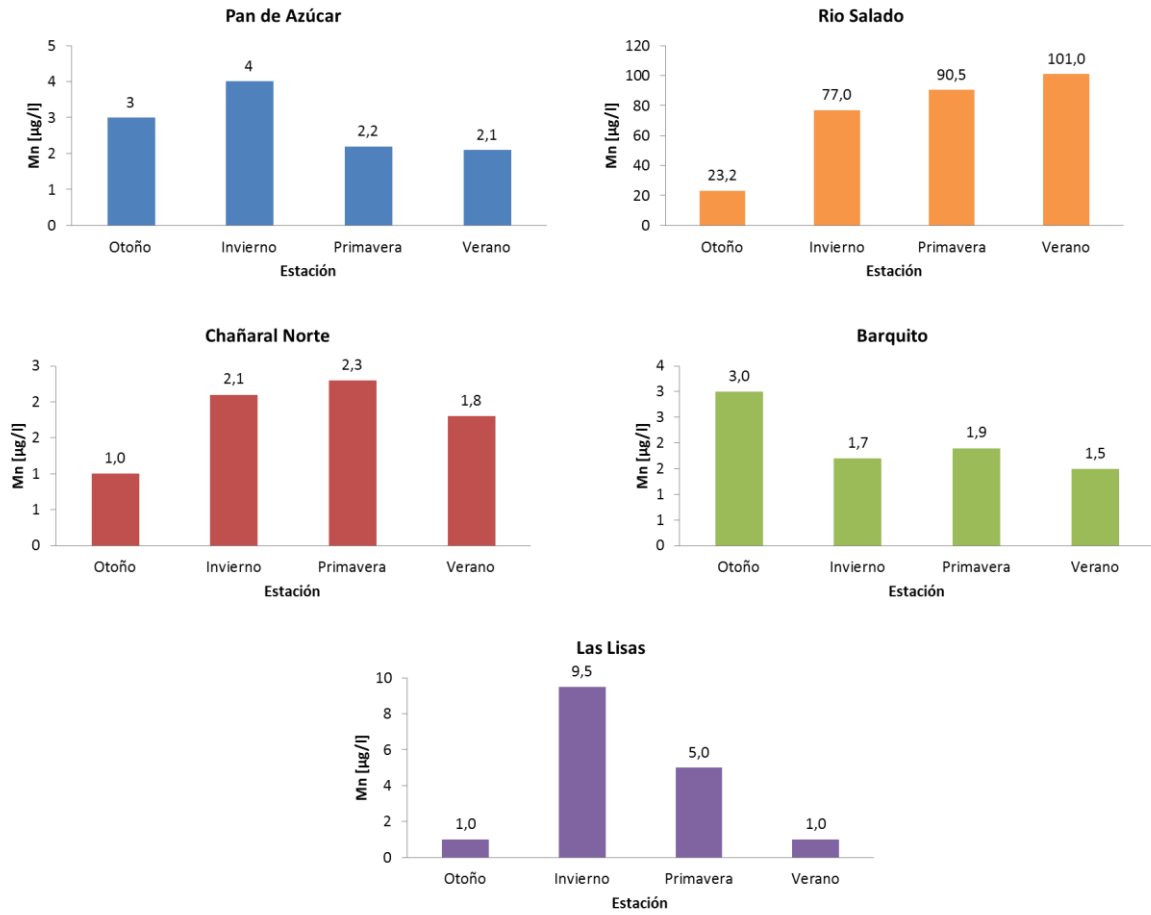


Fig. 27. Variación estacional del manganeso ( $\mu\text{g/L}$ ) en Pan de Azúcar, Río Salado, Chañaral norte, Barquito y Las Lisas.

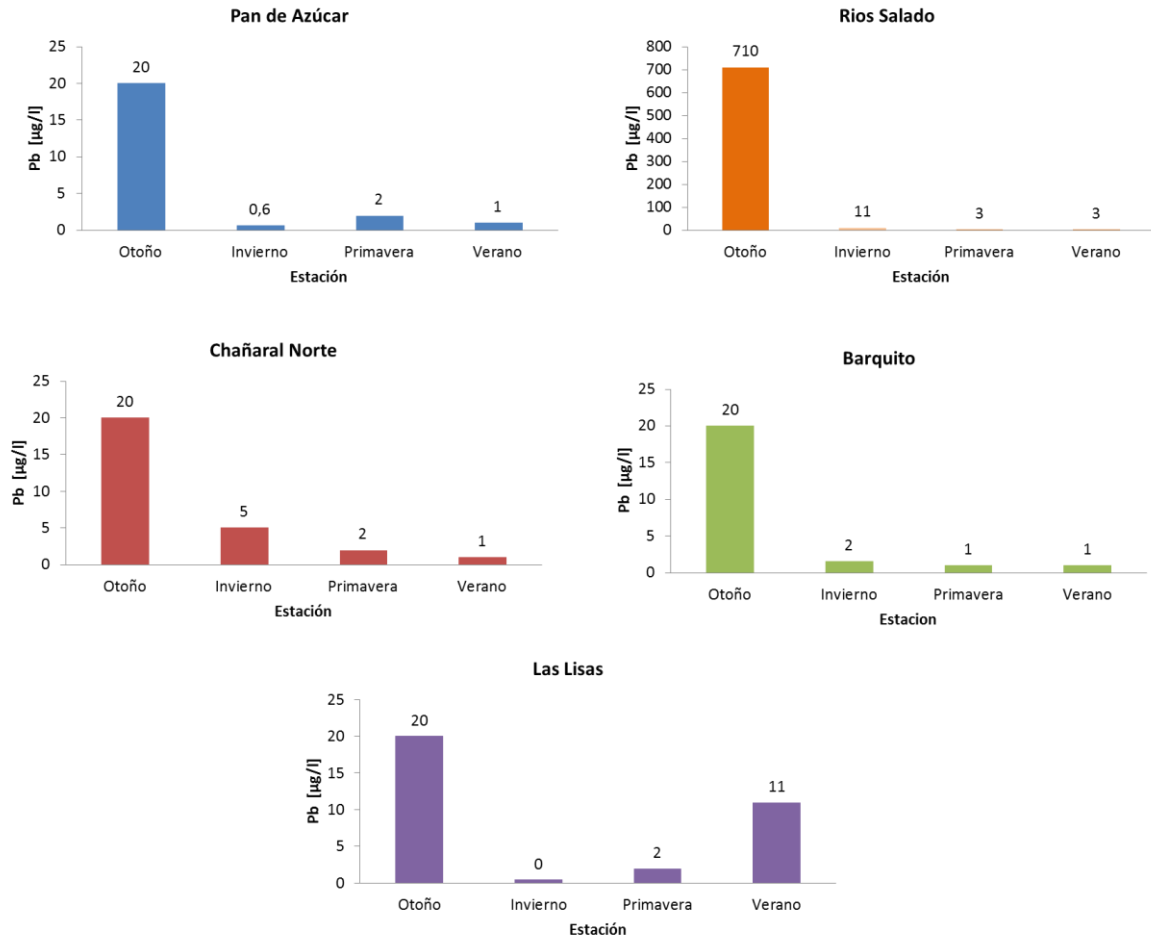


Fig. 28. Variación estacional del plomo ( $\mu\text{g/L}$ ) en Pan de Azúcar, Río Salado, Chañaral norte, Barquito y Las Lisas.

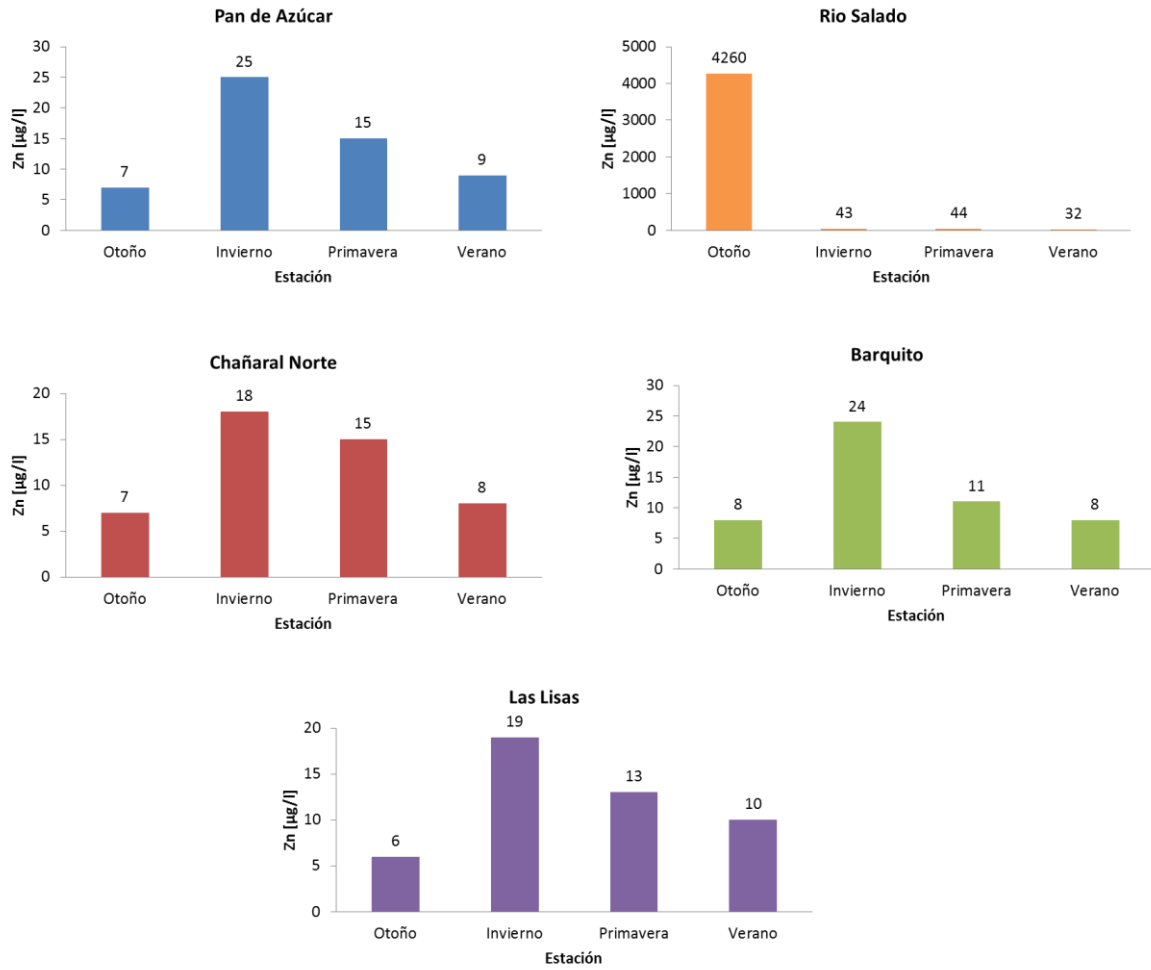


Fig. 29. Variación estacional del zinc ( $\mu\text{g/L}$ ) en Pan de Azúcar, Río Salado, Chañaral norte, Barquito y Las Lisas.

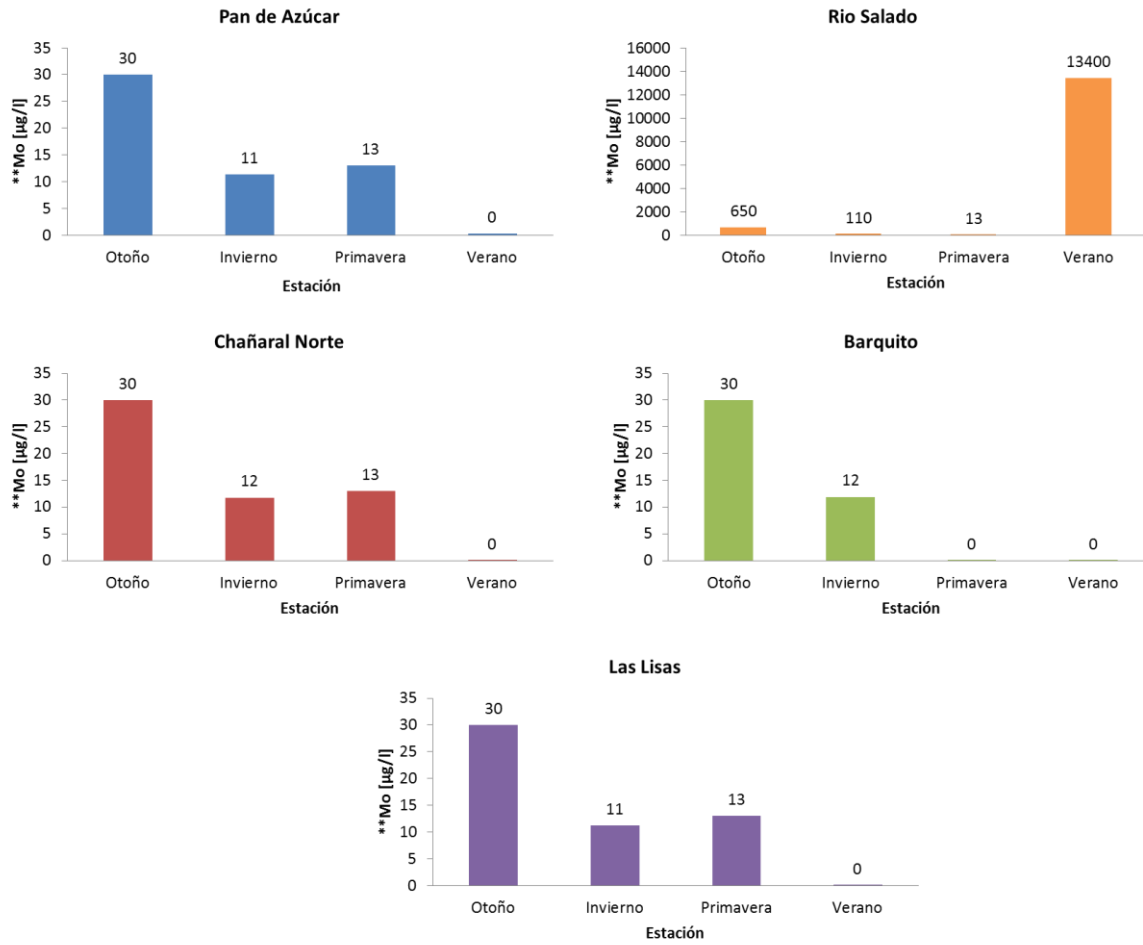


Fig. 30. Variación estacional del molibdeno ( $\mu\text{g/L}$ ) en Pan de Azúcar, Río Salado, Chañaral norte, Barquito y Las Lisas.

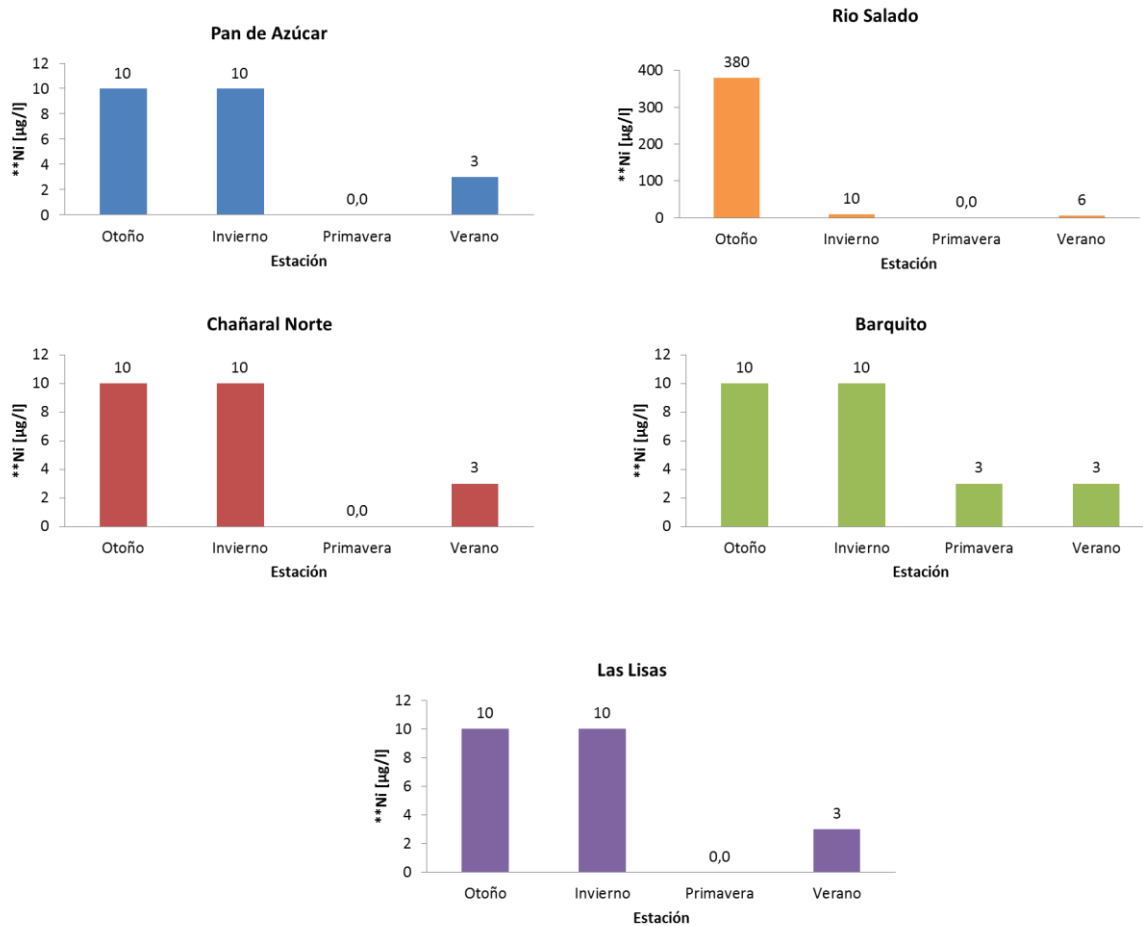


Fig. 31. Variación estacional del níquel ( $\mu\text{g/L}$ ) en Pan de Azúcar, Rio Salado, Chañaral norte, Barquito y Las Lisas.

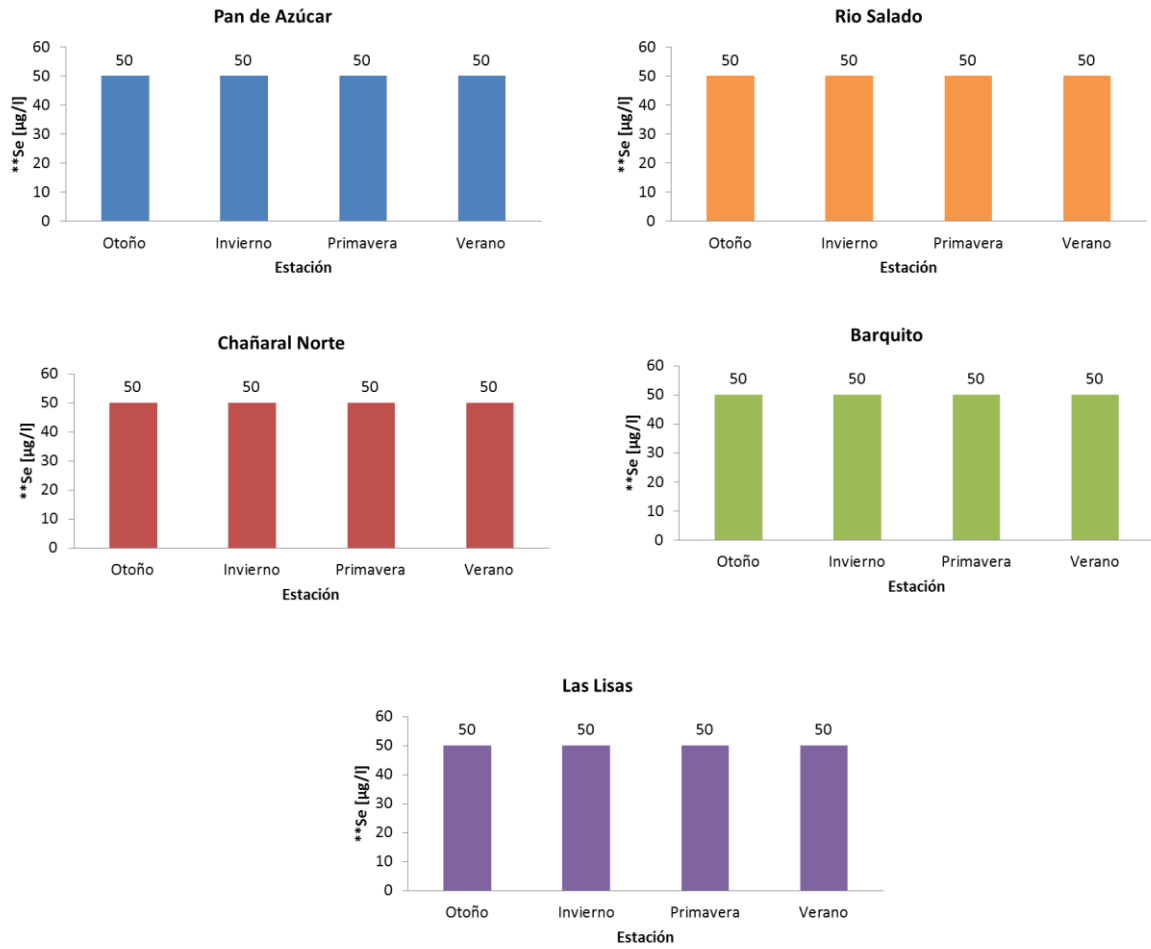


Fig. 32. Variación estacional del selenio ( $\mu\text{g/L}$ ) en Pan de Azúcar, Río Salado, Cañaral norte, Barquito y Las Lisas.

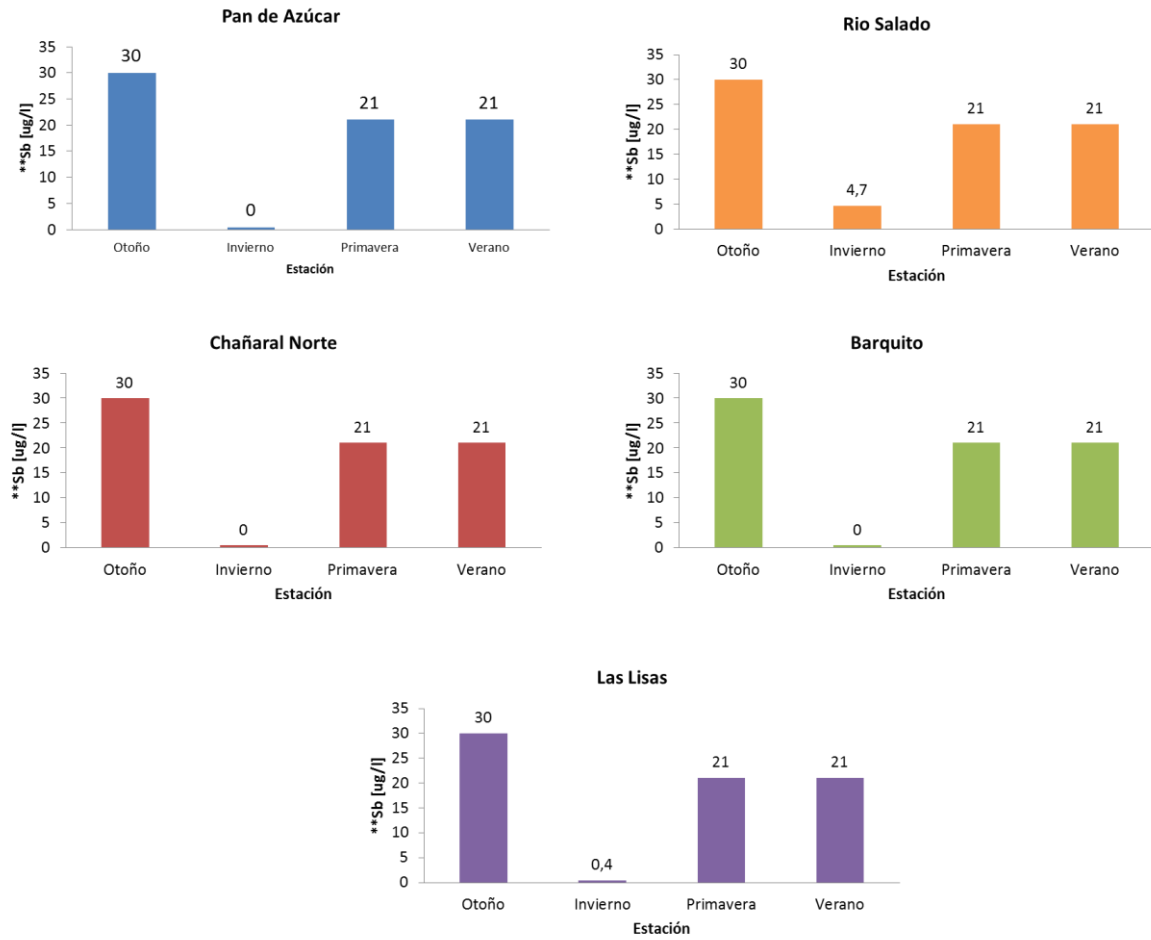


Fig. 33. Variación estacional del antimonio ( $\mu\text{g/L}$ ) en Pan de Azúcar, Rio Salado, Cañaral norte, Barquito y Las Lisas.

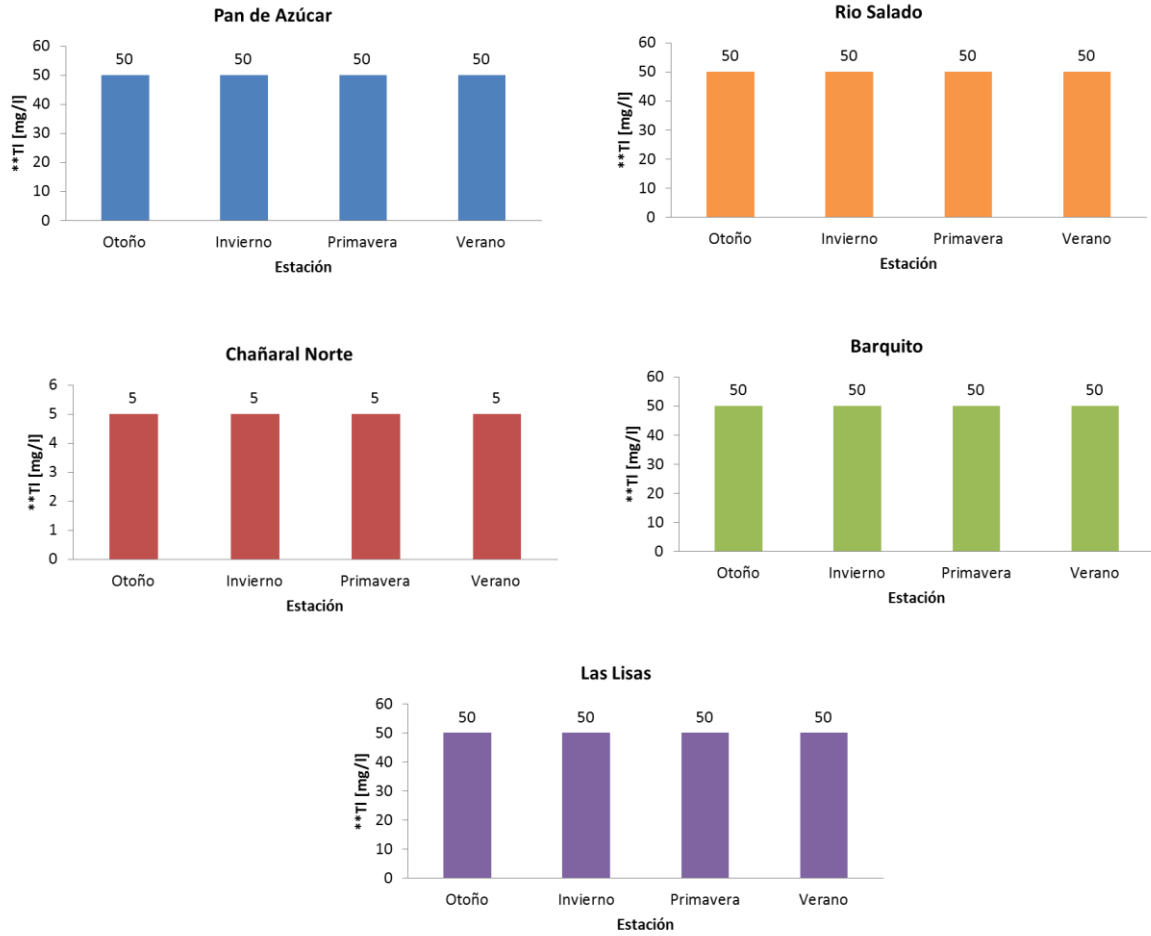


Fig. 34. Variación estacional del Talio ( $\mu\text{g/L}$ ) en Pan de Azúcar, Río Salado, Cañaral norte, Barquito y Las Lisas.



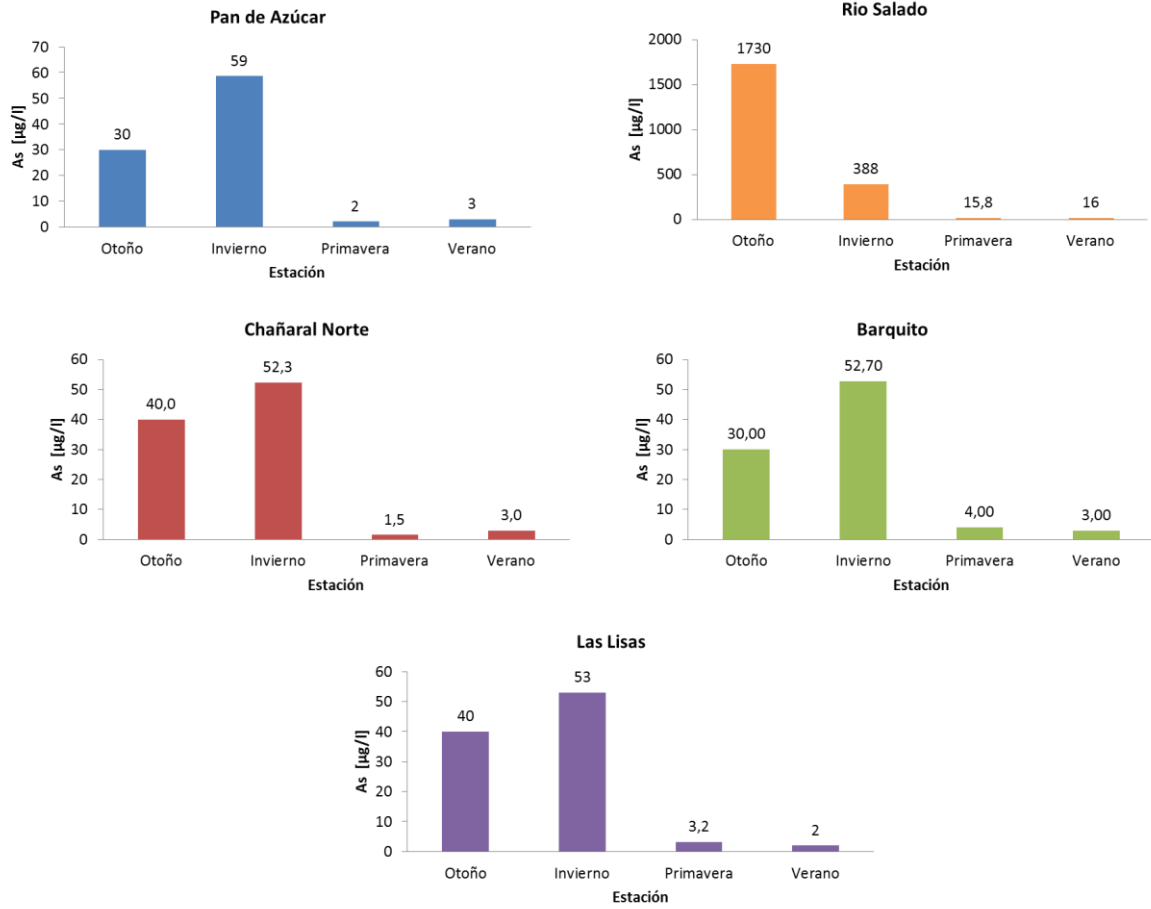


Fig. 35. Variación estacional del arsénico ( $\mu\text{g/L}$ ) en Pan de Azúcar, Rio Salado, Chañaral norte, Barquito y Las Lisas.

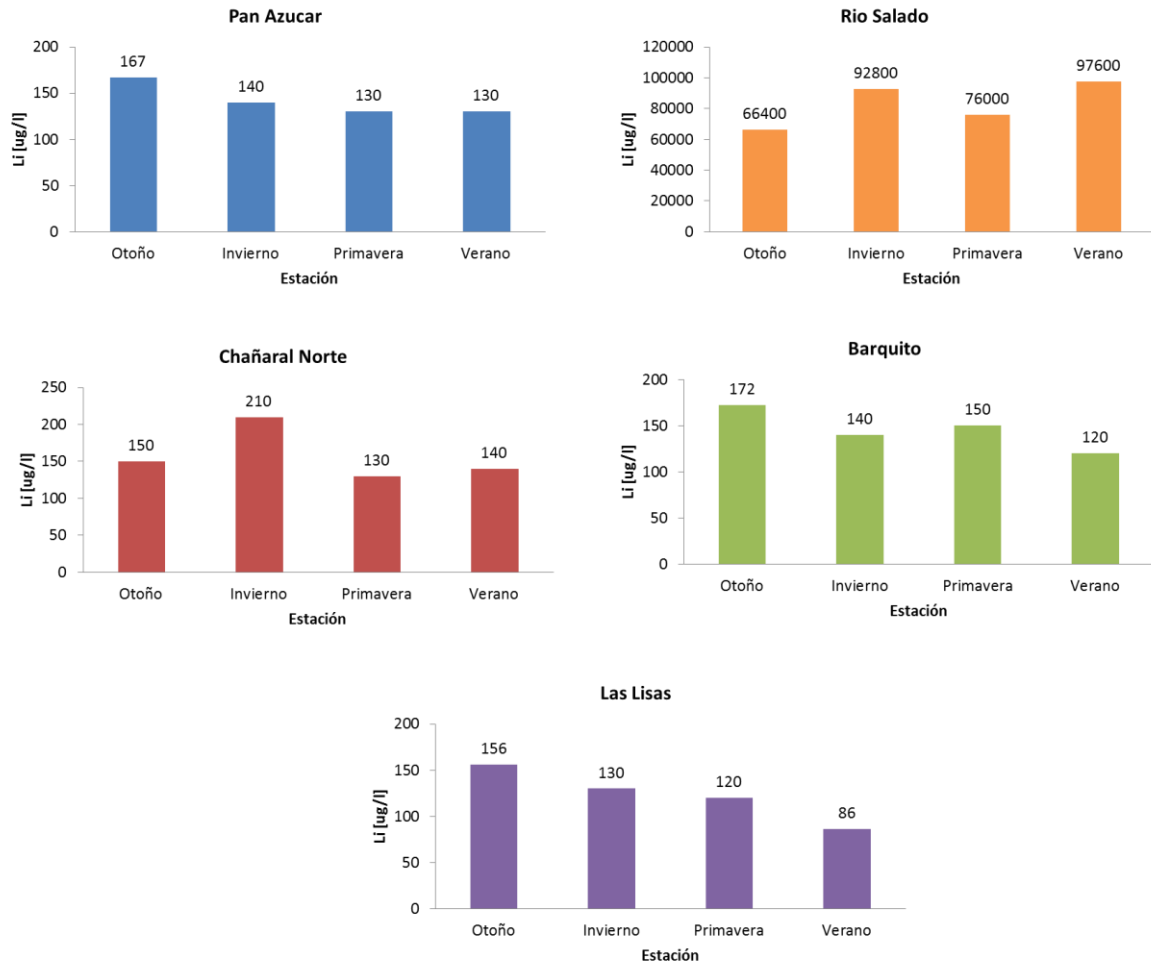


Fig. 36. Variación estacional del litio ( $\mu\text{g/L}$ ) en Pan de Azúcar, Rio Salado, Chañaral norte, Barquito y Las Lisas.

Tabla 8. Variación de nutrientes y metales en la columna de agua de las localidades de Chañaral sur, Las Pocitas y Bahía Chasco.

Localidad	pH [pH]	Conductiv. [ms/m]	Alcalini. [mmol/l]	Turbidez [NTU]	TAN [µg N/l]	N-Tot [µg N/l]	NO3 [µg N/l]	NO2 [µg N/l]	TOC NPOC [mg C/l]	PO4-P [µg P/l]
Chañaral sur	8,3	3340	2,94	3	58	40	<46	<7	<0,05	24,4
Las Pocitas	8,6	5080	2,8	0,8	41	4100	4109,7	<7	<0,05	30,8
Bahía Chasco	7,9	5030	2,02	0,6	58	30	<46	<7	<0,05	33,2

Localidad	Dureza [mg/L CaCO3]	Ca [mg/l]	Mg [mg/l]	K [mg/l]	Na [mg/l]	Cl [mg/l]	F [µg/l]	S [mg/l]	SO4 [mg/l]
Chañaral sur	3.984,19	259,4	812,6	255,4	6618,5	11900	<6	680	1930
Las Pocitas	4.816,04	311,9	983,2	316,7	6566,5	13800	<6	787	2290
Bahía Chasco	5.198,81	336,8	1061,3	342	7204,8	15400	<6	873	2450

Localidad	Fe Total [µg/l]	Al Total [µg/l]	Cd [µg/l]	Co [µg/l]	Cr [µg/l]	Cu [µg/l]	Mn [µg/l]	Pb [µg/l]	Zn [µg/l]	Mo [µg/l]	Se [µg/l]	Sb [ug/l]	Tl [mg/l]	As [µg/l]	Li [ug/l]
Chañaral sur	82	17	<2	<3	<3	29	1,5	<2	14	<13	<50	<21	<50	83,1	130
Las Pocitas	43	<5	<2	4	<3	<2	<0,5	<2	13	<13	<50	<21	<50	2,7	120
Bahía Chasco	80	<5	<2	4	4	<2	0,5	<2	16	<13	<50	<21	<50	2,3	150

#### 4.1.2 Composición Química sedimentos en Chañaral sur

##### ***Calcio y Magnesio***

La tabla 9 presenta los valores de las concentraciones de calcio y magnesio en muestras de sedimento de Chañaral sur, obtenidas a 3 distintas profundidades. Las concentraciones se expresan en mg/kg. Los valores de calcio y magnesio en sedimento marino varían significativamente dependiendo del origen y las condiciones fisicoquímicas del entorno. Una reducción de estos dos elementos puede estar asociada, entre otros, a la reducción de las fuentes vio-génicas o de los niveles de pH. Además, aunque las diferencias no fueron tan marcadas, el sustrato de fondo (20-30 cm) tendió a acumular mayor cantidad de estos dos elementos, que los sustratos superiores (0-20 cm). Todos los estratos, sin embargo, estuvieron bajo los niveles esperados de calcio y magnesio (6000 y 14200 mg/kg respectivamente)

##### ***Sodio***

La concentración de sodio puede variar dependiendo del tipo de sedimento marino y el origen de éste. En general, se observa un comportamiento similar entre los diferentes estratos, siendo levemente mayor el sustrato de fondo (20-30 cm) (tabla 9). Además, las concentraciones registradas fueron mucho mayores en primavera, aunque en todas las estaciones los valores están dentro de rangos promedio en sedimentos marinos (9100 mg/kg).

##### ***Potasio***

Si bien los valores de potasio observados (tabla 9) presentan niveles cercanos a los referenciales (1990 mg/kg), sus concentraciones son más bajas que las de magnesio. No se observó una tendencia estacional clara ni diferencias, en los diferentes niveles de profundidad.

##### ***Aluminio***

Los valores de Aluminio en los distintos estratos se consideran normales acorde a los valores de referencia (700 – 17.500 mg/kg) (tabla 9). Sin embargo, estudios realizados en la Polinesia Francesa permiten establecer concentraciones en sedimento afectadas por afluentes de agua dulce que fluctúan entre 0,1 mg/kg y 0,7 mg/kg (Hirst 2003). No se presentaron diferencias estacionales marcadas, sin embargo se determinó una mayor cantidad de aluminio en el estrato de fondo (20 – 30 cm).

### ***Arsénico***

Los valores de concentración normales de arsénico en sedimento marino pueden fluctuar entre 5mg/kg a 40 mg/kg (Jerry M. Neff, 2009). No obstante, valores en torno a 7 mg/kg pueden ser considerados como adversos para la biota susceptible a desarrollarse en el sedimento marino. En este sentido, los valores reportados en la tabla 9 son mucho más altos que los considerados como aceptables para un ambiente “saludable”. Ello podría explicar la ausencia de fauna (macroinfauna) en el sedimento analizado de bahía Chañaral.

### ***Cobre***

La tabla 9 muestra los valores de Cobre en todas las muestras de sedimentos analizadas. Al igual que en el caso de la concentración de Cu en el agua, los valores de Cu en sedimento se observan variables. Esto podría sugerir una influencia de factores externos como aporte de este metal de las actividades portuarias de Barquito. En este caso, las concentraciones de Cobre observadas en los sedimentos estudiados mostraron valores mayores (aproximadamente tres órdenes de magnitud) a los reportados por Chester, R, (1990), quien indica una concentración de 0,1 mg/kg, para sedimentos marinos. Dado los niveles de calcio y magnesio (y considerando su rol atenuador de la toxicidad por metales pesados de estos), el efecto del cobre como de otros metales podría ser pobremente amortiguado.

### ***Cadmio***

La tabla 9 muestra las concentraciones de Cadmio en todas las muestras de sedimento marino analizadas. Según Canadian Sediment Quality Guidelines for Protection of Aquatic Life, los niveles de Cadmio con efectos probables sobre la biota estarían en torno y por sobre los  $4 - 5 \times 10^3 \mu\text{g}/\text{kg}$ , por lo que de acuerdo con esta información, las concentraciones de cadmio encontradas en el sector estudiado estarían por debajo de dicha referencia.

### ***Cobalto***

De acuerdo a referencias bibliográficas, las concentraciones de cobalto en el sedimento marino, cercano a la costa, pueden estar en rangos que fluctúan entre 0,6 mg/kg hasta 13 mg/kg (Technical Report-Water Quality Guidelines for Cobalt). Si se toma la referencia anterior, el nivel

de concentración de cobalto en el sedimento estudiado se encontraría dentro de rangos previamente descritos para sedimento marino (tabla 9). Asimismo, tampoco se detectaron diferencias estacionales dentro de los diferentes estratos.

### ***Cromo***

Comparando con las referencias (33.6 mg/kg), los valores de cromo en todas las muestras analizadas son bajos (tabla 9). De hecho, y de acuerdo a la Canadian Sediment Quality Guidelines for Protection of Aquatic Life, los niveles letales de este metal sobre la biota están en torno a 105 µg/kg. Por lo tanto, se podría estimar que la composición del sedimento en Chañaral sur no debiera tener un efecto adverso.

### ***Manganeso***

Las concentraciones de Manganeso detectados en los tres estratos (tabla 9) está dentro de rangos que se encuentran descritos en la bibliografía para sedimentos marinos (30 mg/kg). Sin embargo, este último valor varía ampliamente dependiendo del lugar. Por ejemplo, Estudios realizados en sectores con influencia de cuerpos de agua dulce presentan rangos que varían entre 0,1 mg/kg y 0,7 mg/kg de manganeso (Hirst 2003).

### ***Zinc***

La tabla 9 muestra los resultados de Zinc registrados en las muestras de sedimentos marinos analizados. No se observan variaciones significativas entre los distintos estratos del sedimento analizado. Asimismo, no hubo diferencias estacionales marcadas. Además, los valores detectados son comparables e inferiores a los que la bibliografía indica como aceptables (11 – 67 mg/kg).

### ***Molibdeno***

Las concentraciones de Molibdeno en todas las muestras analizadas se encuentran dentro de los rangos descritos para sedimento marino (tabla 9), los que fluctúan entre 0,7 mg/kg y 160 mg/kg según Zheng et al. (2000). Aunque no fueron diferencias muy claras, se apreció una leve tendencia de mayor cantidad de molibdeno en el estrato superficial del sedimento (0 – 10 cm). Diferencias estacionales no fueron detectadas.

### ***Níquel***

Los valores de níquel observados no se correlacionan con otros metales o minerales estudiados. En este estudio, los valores fueron muy bajos (tabla 9), al compararlos con trabajos realizados en otras latitudes (Hirst 2003). De hecho, muchos ni fueron detectados por los métodos empleados dada su baja presencia. Por lo tanto, no estaría en niveles que resulten adversos.

### ***Plomo***

Los valores de plomo en sedimento se muestran en la tabla 9. El nivel de Plomo en sedimento de Chañaral, según el “Canadian Sediment Quality Guidelines for Protection of Aquatic Life”, no representa riesgo para la biota y no se encontraría por sobre niveles que ejerzan efectos adversos. Acorde con este trabajo, la concentración de plomo que comienza a ejercer efectos adversos está por sobre el 100 mg/kg en sedimento. Estos bajísimos valores no exhibieron variaciones significativas a nivel estacional o entre los diferentes estratos de profundidad (tabla 9).

### ***Litio***

Los niveles de Litio en sedimento (tabla 9), contrario a lo observado en agua, no son altos comparado con las referencias (2 – 80 mg/kg). Sin embargo se observó variación de los niveles detectados entre muestras de distintas épocas del año, siendo mayor en invierno. Igualmente, una mayor acumulación ocurrió en el sustrato del fondo (20 – 30 cm). Estas variaciones sugieren que a nivel de sedimento podría haber un efecto de fuentes externas (no de origen marino), lo que también podría explicar las altas concentraciones detectadas en algunas las muestras de agua.

### ***Hierro***

La concentración de hierro (tabla 9) se presenta baja a lo habitualmente esperado en sedimento marino (~43.000 mg/kg: fuente: NIVA Chile). Sin embargo no es posible establecer si esto corresponde a una condición basal natural, teniendo en consideración las concentraciones fluctuantes de este metal en el agua. Diferencias a nivel estacional y dentro de los estratos por ende no fueron encontradas.

### ***Azufre y Sulfato***

En la mayoría de los sedimentos marinos, el ciclo del azufre se encuentra estrechamente ligado a la especiación y restitución de las fases sólidas de hierro y manganeso. La reacción entre el producto de la reducción de sulfato, sulfuro, y Hierro férrico en la forma de óxidos metálicos o unidos a minerales de silicato, conlleva no solo a la formación de minerales del tipo Sulfuro de Hierro y complejos, sino también a otros compuestos de azufre con estados de oxidación más altos.

Por lo tanto, el destino del fósforo está muy ligado a la especiación y recambio de carbono, azufre y hierro en sedimentos marinos y el borde de la capa bentónica. Como el fósforo es un elemento limitante clave en los ambientes acuáticos, el entendimiento de las interacciones entre los ciclos del P, C, Fe y S es fundamental. La forma predominante de azufre en ambientes marinos es bajo su estado de oxidación +VI, y en sus formas reducidas como sulfito y pirita (estados de oxidación -II y -I). Se estima que la diferencia en concentración neta de azufre, entre azufre total y sulfato, es explicada por estas formas.

En este estudio, los valores de azufre no tuvieron una variación estacional marcada como tampoco en los distintos niveles de estratos analizados (tabla 9). Paradójicamente, los niveles de sulfato si tuvieron una variación temporal marcada, siendo indetectables para las estaciones de otoño e invierno. Aparentemente, el azufre estaría presente en estas otras formas químicas (estados de oxidación) en estas dos estaciones del año.

### ***Selenio, Antimonio y Talio***

Las concentraciones de estos tres metales se muestran en las en la tabla 9. Al igual que el caso de las muestras de agua, prácticamente todos los niveles en selenio (< 500 mg/kg), talio (< 1.4 mg/kg) y antimonio (< 2 mg/kg) estuvieron bajo los niveles detectables, y en consecuencia bajo los niveles dañinos o crónicos para la biota.



Tabla 9. Variación estacional de los contenidos de metales pesados en el sedimento de Chañaral sur. S: estrato superficial (0 – 10 cm), M: estrato medio (10 – 20 cm), F: estrato del fondo (20 – 30 cm). N/R: no registrado

Estación del año	Calcio [mg/kg]	Magnesio [mg/kg]	Sodio [mg/l]	Potasio [mg/kg]	Aluminio [mg/kg]	Arsénico [mg/kg]	Cobre [mg/kg]	Cadmio [µg/kg]	Cobalto [mg/kg]	Cromo [mg/kg]	Manganeso [mg/kg]	
S	Otoño	1300,0	1500,0	3000,0	1000,0	3700,0	23,00	500,0	25,0	2,0	1,7	24,0
	Invierno	1100,0	1400,0	3400,0	870,0	4700,0	27,00	480,0	17,0	1,7	1,3	23,0
	Primavera	1100,0	1600,0	2300,0	660,0	3000,0	17,00	350,0	17,0	1,4	4,7	16,0
	Verano	1600,0	1700,0	1700,0	620,0	3800,0	20,00	590,0	13,0	1,7	2,5	21,0
M	Otoño	900,0	1500,0	3000,0	1000,0	4800,0	19,00	580,0	51,0	1,7	1,5	19,0
	Invierno	1400,0	2000,0	6100,0	1300,0	4700,0	25,00	450,0	14,0	1,6	1,5	23,0
	Primavera	1400,0	1800,0	3100,0	890,0	3300,0	20,00	420,0	14,0	1,6	3,5	19,0
	Verano	950,0	1600,0	2700,0	920,0	3100,0	18,00	430,0	16,0	1,4	0,9	17,0
F	Otoño	840,0	1300,0	2700,0	900,0	3900,0	20,00	510,0	23,0	1,6	1,2	19,0
	Invierno	1800,0	1700,0	6600,0	1200,0	5700,0	27,00	680,0	18,0	1,6	1,4	20,0
	Primavera	1600,0	1800,0	4100,0	1000,0	4400,0	17,00	620,0	<13	1,5	3,8	18,0
	Verano	840,0	1300,0	2700,0	900,0	3900,0	20,00	510,0	23,0	1,6	1,2	19,0

Tabla 9 (continuación). Variación estacional de los contenidos de metales pesados en el sedimento. S: estrato superficial (0 – 10 cm), M: estrato medio (10 – 20 cm), F: estrato del fondo (20 – 30 cm). N/R: no registrado

	Estación del año	Zinc [mg/kg]	Molibdeno [mg/kg]	Níquel [mg/kg]	Plomo [mg/kg]	Litio [mg/kg]	Hierro [mg/kg]	Azufre [mg/l]	Sulfato [mg/l]	Selenio [µg/l]	Antimonio [mg/l]	Talio [mg/l]
S	Otoño	9,3	44,0	1,4	3,9	2,2	4700,0	930,0	N/R	<500	<1,4	<1,4
	Invierno	<13	42,0	1,0	3,7	12,0	4500,0	1000,0	N/R	610,0	<1,4	1,4
	Primavera	<19	25,0	<1,3	3,0	2,1	3500,0	940,0	1100,00	<500	<1,3	<1,9
	Verano	<19	23,0	1,3	3,2	2,9	3900,0	910,0	730,00	<500	<1,3	<1,9
M	Otoño	9,7	39,0	1,4	2,7	2,1	3900,0	750,0	N/R	<500	<1,4	<1,4
	Invierno	<14	36,0	1,2	3,8	19,0	4300,0	950,0	N/R	570,0	<1,4	<1,4
	Primavera	<20	35,0	<1,3	3,2	4,2	4200,0	1000,0	930,00	<500	<1,3	<2,0
	Verano	<20	29,0	<1,4	3,0	1,9	3400,0	810,0	900,00	<500	<1,4	<2,0
F	Otoño	8,2	31,0	1,0	2,7	1,9	3700,0	700,0	N/R	<500	<1,4	<1,4
	Invierno	<14	28,0	1,0	4,2	22,0	3900,0	1000,0	N/R	580,0	<1,4	<1,4
	Primavera	<20	25,0	<1,3	3,5	8,5	3600,0	940,0	1200,00	<500	<1,3	<2,0
	Verano	8,2	31,0	1,0	2,7	1,9	3700,0	700,0	N/R	<500	<1,4	<1,4

### 4.1.3 Composición granulométrica del sedimento

La granulometría del sedimento presente en Chañaral sur (figs. 37 - 39) no presentan diferencias entre los distintos niveles (estratos) de profundidad. La composición típica de este sedimento esta entre un 70 – 90 % básicamente por partículas de 125 – 250  $\mu\text{m}$ , seguidas aprox. por 10% de partículas de 250 – 500. No obstante, este tamaño de partícula es mucho más bajo que hasta los 2mm de tamaño que se espera encontrar en arenas de playas naturales. Esta característica es la principal razón que explica la gran variación en los niveles de arena en este sedimento y en la bahía en general, la que puede ser de varios centímetros entre un mes y otro.

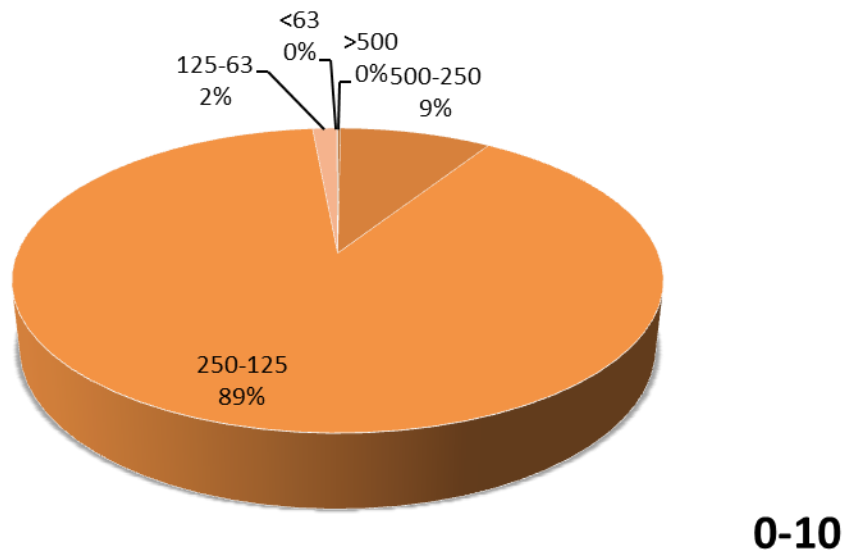
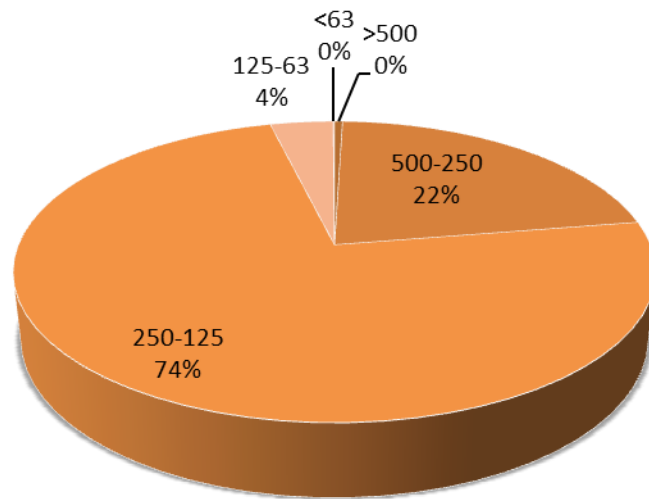
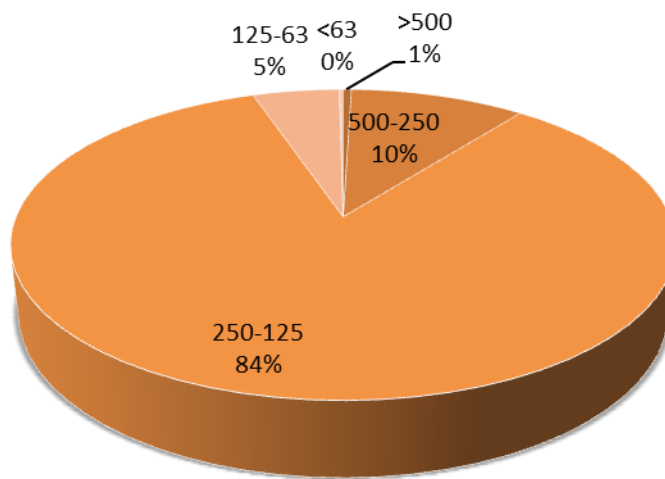


Fig. 37. Composición granulométrica de sedimento proveniente de Chañaral sur. Estrato 0 – 10 cm.



**10-20**

Fig. 38. Composición granulométrica de sedimento proveniente de Chañaral sur. Estrato 10 – 20 cm.



**20-30**

Fig. 39. Composición granulométrica de sedimento proveniente de Chañaral sur. Estrato 20 – 30 cm.

## 4.2 Caracterización de la flora y fauna abundante en bahías de la región de Atacama

Las tablas 10 y 11 muestran la diversidad de algas e invertebrados de 5 localidades de la región de Atacama, y su distribución en el intermareal para el mes de Mayo. Las localidades más alejadas de Chañaral (Las Lisas, las Pocitas y Pan de Azúcar) fueron las que, usualmente contaron con la mayor diversidad de especies. *Lessonia nigrescens* (huiro negro) ha sido una de las especies dominantes. A medida que nos acercamos a la Bahía de Chañaral, la diversidad de algas e invertebrados disminuye, así como también su cobertura. Solo especies de algas verdes y rojas de poco tamaño se encuentran presentes, así como también gastrópodos de los géneros *Scurria* y *Littorina*, pero todos con bajas tallas ( $\approx 1$  cm) y poco abundantes.

Tabla 10. Composición algo lógica en el intermareal de Atacama

División taxonómica	Especie
<b>Chlorophyta (algas verdes)</b>	<i>Ulva spp.</i>
	<i>Costra Ulvoide</i>
	<i>Ulva compressa</i>
	<i>Ulva linza</i>
	<i>Ulva lactuca</i>
<b>Rhodophyta (algas rojas)</b>	<i>Hildenbrandia sp.</i>
	<i>Mesophyllum sp.</i>
	<i>Corallina officinalis</i>
	<i>Montemaria horridula</i>
	<i>Porphyra columbina</i>
	<i>Ceramium spp.</i>
<b>Phaeophyta (algas pardas)</b>	<i>Dictyota dichotoma</i>
	<i>Colpomenia sinuosa</i>
	<i>Glossophora kunthii</i>
	<i>Lessonia nigrescens</i>
	<i>Desmarestia sp.</i>
	<i>Petalonia facia</i>
	<i>Scytosiphon lomentaria</i>
	<i>Costra Ectocarpoide (Ectocarpales)</i>
	<i>Ralfsia sp.</i>

Tabla 11. Composición faunística en el intermareal de Atacama

Phyllum taxonómico	Especie
<b>Porifera (corales y esponjas)</b>	<i>Coral indeterminado</i>
<b>Cnidaria (anemonas)</b>	<i>Anthotoe chilensis</i>
	<i>Anemonia alimartinacea</i>
	<i>Phymactis clematis</i>
<b>Mollusca (gastropodos y bivalvos)</b>	<i>Scurria spp.</i>
	<i>Littorina peruviana</i>
	<i>Tegula sp.</i>
	<i>Prisogaster niger</i>
	<i>Lottia sp.</i>
	<i>Permumytilus purpuratus</i>
	<i>Mytilus chilensis</i>
	<i>Fissurella sp.</i>
	<i>Calyptraea trochiformis</i>
	<i>Enoplochiton niger</i>
	<i>Concholepas concholepas</i>
<b>Arthropoda (cangrejos y cirripedios)</b>	<i>Jhelius cirratus</i>
	<i>Pagurus edwardsii</i>
	<i>Taliepus dentatus</i>
<b>Echinodermata (estrellas de mar y erizos)</b>	<i>Heliaster helianthus</i>
	<i>Loxechinus albus</i>
	<i>Tetrapygyus niger</i>

#### 4.2.1 Coberturas de algas e invertebrados en Pan de Azúcar

Con el análisis de estos transectos estacionales se puede observar una clara dominancia de *Lessonia nigrescens* en el mesomareal inferior, la que coexiste y crece sobre *Hildenbrandia*, *Corallina officinallis* y *Mesophyllum* (foto 34). En el sector del mesomareal alto (zona de rocío), se observaron cinturones de cirripedios *Jhelius cirratus* y caracoles de los géneros *Littorina* y *Scurria*.

Eventualmente, especialmente en los meses de verano, fue posible apreciar una disminución en la cobertura de las algas *Lessonia nigrescens*, la que suele decrecer por acción de las elevadas temperaturas e irradiación solar de la época, como también la intervención de algueros que cosechan y secan para su venta a plantas picadoras de este recurso y que va al mercado de los alginatos.



Foto 34. Vista panorámica de algas de los géneros *Lessonia*, *Mesophyllum*, *Corallina*, *Montemaria* y *Ulva* en Pan de Azúcar

**a. Transecto 1**

Tabla 12. Zonación de algas e invertebrados en Pan de Azúcar, desde el mesomareal inferior hasta el superior (% cobertura) en el mes de Julio (invierno).

Distancia (cm)	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350
<i>Lessonia nigrescens</i>	100	100	100	56	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Corallina officinalis</i>	-	-	-	22	47	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Montemaria horridula</i>	-	-	-	10	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Tegula sp.</i>	-	-	-	-	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Jehlius cirratus</i>	-	-	-	-	11	15	5	24	24	-	-	4	1	-
<i>Hildenbrandia ssp.</i>	-	-	-	-	-	58	12	7	-	-	-	-	-	-
<i>Littorina peruviana</i>	-	-	-	-	-	15	-	-	-	13	14	4	1	-
<i>Scurria ssp.</i>	-	-	-	-	-	7	7	6	-	-	-	-	-	-
<i>Ulva ssp.</i>	-	-	-	-	-	-	7	4	-	-	-	-	-	-
<i>Roca</i>	-	-	-	12	4	5	69	59	76	87	86	92	98	100

Tabla 13. Zonación de algas e invertebrados en Pan de Azúcar, desde el mesomareal inferior hasta el superior (% cobertura) en el mes de Octubre (primavera).

Distancia (cm)	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350
<i>Lessonia nigrescens</i>	100	100	100	100	72	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Corallina officinalis</i>	-	-	-	-	12	17	17	19	17	-	-	-	-	-
<i>Montemaria horridula</i>	-	-	-	-	8	8	7	14	6	5	-	-	1	-
<i>Mesophyllum sp.</i>	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Hildenbrandia ssp.</i>	-	-	-	-	-	10	4	41	42	67	15	-	-	-
<i>Littorina peruviana</i>	-	-	-	-	-	-	-	7	7	12	15	19	7	-
<i>Petalonia fascia</i>	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-
<i>Ulva ssp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	4	4	4	9	7	3	-
<i>Jehlius cirratus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	12	9	35	22	8	-
<i>Scurria ssp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	9	2	-	-	-	-
<i>Colpomenia sinuosa</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
<i>Roca</i>	-	-	-	-	4	65	72	9	3	-	26	52	81	100



Tabla 14. Zonación de algas e invertebrados en Pan de Azúcar, desde el mesomareal inferior hasta el superior (% cobertura) en el mes de Enero (verano).

Distancia (cm)	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350
<i>Lessonia nigrescens</i>	100	100	100	100	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Corallina officinalis</i>	-	-	-	-	22	23	32	-	-	-	-	-	-	-
<i>Hildenbrandia ssp.</i>	-	-	-	-	9	14	9	42	63	-	-	-	-	-
<i>Costra ulvoide</i>	-	-	-	-	-	9	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ulva ssp.</i>	-	-	-	-	-	10	12	4	-	-	-	-	-	-
<i>Scurria ssp.</i>	-	-	-	-	-	-	13	22	-	8	-	-	-	-
<i>Jehlius cirratus</i>	-	-	-	-	-	-	7	14	22	26	2	-	-	-
<i>Montemaria horridula</i>	-	-	-	-	-	-	-	12	-	-	-	-	-	-
<i>Littorina peruviana</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	27	-	-
<b>Roca</b>	-	-	-	-	54	44	27	6	15	62	98	73	100	100

Tabla 15. Zonación de algas e invertebrados en Pan de Azúcar, desde el mesomareal inferior hasta el superior (% cobertura) en el mes de Abril (otoño).

Distancia (cm)	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350
<i>Hildenbrandia ssp.</i>	27	20	14	32	57	47	10	-	-	-	-	-	-	-
<i>Corallina officinalis</i>	10	20	-	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Montemaria horridula</i>	6	33	16	17	14	22	4	-	-	-	-	-	-	-
<i>Costra ulvoide</i>	-	8	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Jehlius cirratus</i>	-	-	9	16	10	9	55	22	6	9	-	-	-	-
<i>Ulva ssp.</i>	-	-	-	14	9	4	5	-	-	-	-	-	-	-
<i>Scurria ssp.</i>	-	-	-	-	6	9	9	6	-	-	-	-	-	-
<i>Enoplochiton niger</i>	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
<i>Littorina peruviana</i>	-	-	-	-	-	-	-	7	15	17	-	-	-	-
<b>Roca</b>	67	19	53	8	4	9	16	65	79	74	100	100	100	100

## b. Transecto 2

Tabla 16. Zonación de algas e invertebrados en Pan de Azúcar, desde el mesomareal inferior hasta el superior (% cobertura) en el mes de Julio (invierno).

Distancia (cm)	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325
<i>Lessonia nigrescens</i>	100	100	81	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Corallina officinalis</i>	-	-	19	77	12	-	4	15	-	-	-	-	-
<i>Costra ulvoide</i>	-	-	-	8	8	10	7	7	7	10	2	-	-
<i>Mesophyllum sp.</i>	-	-	-	6	-	-	-	6	-	-	-	-	-
<i>Hildenbrandia ssp.</i>	-	-	-	5	72	90	89	66	15	15	92	-	-
<i>Jehlius cirratus</i>	-	-	-	4	8	-	-	-	4	-	-	4	-
<i>Scurria ssp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	6	5	4	4	5	-
<i>Coral indeterminado</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	68	67	-	-	-
<i>Peromytilus purpuratus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
<i>Ulva ssp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-
<i>Littorina peruviana</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	7
<i>Calyptraea trochiformis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
<i>Roca</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	87	89

Tabla 17. Zonación de algas e invertebrados en Pan de Azúcar, desde el mesomareal inferior hasta el superior (% cobertura) en el mes de Octubre (primavera).

Distancia (cm)	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325
<i>Lessonia nigrescens</i>	100	100	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Mesophyllum sp.</i>	-	-	-	86	11	10	-	-	-	-	-	-	-
<i>Corallina officinalis</i>	-	-	-	5	63	12	-	-	-	-	-	-	-
<i>Costra ulvoide</i>	-	-	-	5	13	7	-	-	-	-	-	-	-
<i>Hildenbrandia ssp.</i>	-	-	-	4	7	49	12	-	-	-	-	-	-
<i>Jehlius cirratus</i>	-	-	-	-	4	-	9	14	10	13	85	80	8
<i>Scurria ssp.</i>	-	-	-	-	2	7	12	12	-	-	-	-	-
<i>Ulva ssp.</i>	-	-	-	-	-	9	3	-	-	-	-	-	-
<i>Montemaria horridula</i>	-	-	-	-	-	4	2	-	-	-	-	-	-
<i>Littorina peruviana</i>	-	-	-	-	-	-	2	5	5	-	6	6	-
<i>Roca</i>	-	-	-	-	-	2	60	69	85	87	9	14	92

Tabla 18. Zonación de algas e invertebrados en Pan de Azúcar, desde el mesomareal inferior hasta el superior (% cobertura) en el mes de Enero (verano).

Distancia (cm)	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325
<i>Lessonia nigrescens</i>	100	100	68	3	8	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Corallina officinalis</i>	-	-	22	8	9	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ulva ssp.</i>	-	-	6	-	17	3	9	-	-	-	-	-	-
<i>Costra roja</i>	-	-	4	62	34	9	8	-	-	-	-	-	-
<i>Costra verde</i>	-	-	-	15	19	73	-	-	-	-	-	-	-
<i>Mesophyllum</i>	-	-	-	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Montemaria</i>	-	-	-	-	6	8	29	-	-	-	-	-	-
<i>Scurria ssp.</i>	-	-	-	-	-	3	-	-	-	22	-	-	-
<i>Jhelius cirratus</i>	-	-	-	-	-	-	54	91	9	14	14	-	-
<i>Littorina peruviana</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	1	-
<i>Roca</i>	-	-	-	-	7	4	-	9	91	64	83	99	100

Tabla 19. Zonación de algas e invertebrados en Pan de Azúcar, desde el mesomareal inferior hasta el superior (% cobertura) en el mes de Abril (otoño).

Distancia (cm)	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325
<i>Lessonia nigrescens</i>	100	100	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Mesophyllum sp.</i>	-	-	-	55	14	9	-	-	-	-	-	-	-
<i>Corallina officinalis</i>	-	-	-	26	56	15	-	-	-	-	-	-	-
<i>Costra ulvoide</i>	-	-	-	11	17	24	58	48	9	-	-	-	-
<i>Hildenbrandia ssp.</i>	-	-	-	8	13	22	13	14	7	-	-	-	-
<i>Ulva ssp.</i>	-	-	-	-	-	22	9	-	-	-	-	-	-
<i>Jehlius cirratus</i>	-	-	-	-	-	8	6	22	66	9	86	94	71
<i>Montemaria horridula</i>	-	-	-	-	-	-	11	9	-	-	-	-	-
<i>Scurria ssp.</i>	-	-	-	-	-	-	3	7	-	-	-	-	9
<i>Littorina peruviana</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8
<i>Roca</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	18	91	14	6	12

### c. Transecto 3

Tabla 20. Zonación de algas e invertebrados en Pan de Azúcar, desde el mesomareal inferior hasta el superior (% cobertura) en el mes de Julio (invierno).

Distancia (cm)	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350
<i>Lessonia nigrescens</i>	100	100	76	62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Hildenbrandia ssp.</i>	-	-	-	24	57	88	71	24	15	15	72	74	85	-
<i>Montemaria horridula</i>	-	-	-	8	10	-	-	9	15	8	9	-	-	-
<i>Costra ulvoide</i>	-	-	-	6	4	5	20	10	10	-	10	10	-	-
<i>Jehlius cirratus</i>	-	-	-	-	22	-	-	-	-	-	-	8	8	94
<i>Scurria ssp.</i>	-	-	-	-	7	-	-	-	-	-	2	-	-	-
<i>Heliaster helianthus</i>	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-
<i>Littorina peruviana</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	5	-
<i>Concholepas concholepas</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
<i>Roca</i>	-	-	24	-	-	7	4	57	60	77	2	8	2	6

Tabla 21. Zonación de algas e invertebrados en Pan de azúcar, desde el mesomareal inferior hasta el superior (% cobertura) en el mes de Octubre (primavera).

Distancia (cm)	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350
<i>Mesophyllum sp.</i>	78	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Corallina officinalis</i>	14	88	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lessonia nigrescens</i>	8	-	100	100	100	75	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Montemaria horridula</i>	-	-	-	-	-	14	19	8	14	12	-	-	-	-
<i>Jehlius cirratus</i>	-	-	-	-	-	4	2	-	-	-	2	-	12	95
<i>Hildenbrandia ssp.</i>	-	-	-	-	-	-	63	74	70	12	17	82	78	-
<i>Costra ulvoide</i>	-	-	-	-	-	-	7	-	6	4	4	-	-	-
<i>Ulva ssp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	12	6	4	-	-	-	-
<i>Littorina peruviana</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	4	-
<i>Roca</i>	-	-	-	-	-	7	9	6	4	68	77	4	6	5

Tabla 22. Zonación de algas e invertebrados en Pan de azúcar, desde el mesomareal inferior hasta el superior (% cobertura) en el mes de Enero (verano).

Distancia (cm)	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350
<i>Corallina officinalis</i>	65	69	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lessonia nigrescens</i>	17	22	100	100	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Mesophyllum sp.</i>	16	9	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Montemaria horridula</i>	-	-	-	-	-	15	-	1	4	19	59	13	-	-
<i>Ulva ssp.</i>	-	-	-	-	-	14	4	-	5	7	7	4	-	-
<i>Hildenbrandia ssp.</i>	-	-	-	-	-	10	4	2	13	32	12	45	23	-
<i>Costra ulvoide</i>	-	-	-	-	-	-	10	11	14	20	6	2	-	-
<i>Jehlius cirratus</i>	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	3	6	63	91
<i>Littorina peruviana</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-
<i>Roca</i>	2	-	-	-	-	57	76	86	64	22	13	30	13	9

Tabla 23. Zonación de algas e invertebrados en Pan de azúcar, desde el mesomareal inferior hasta el superior (% cobertura) en el mes de Abril (otoño).

Distancia (cm)	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350
<i>Lessonia nigrescens</i>	100	100	100	15	94	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Mesophyllum sp.</i>	-	-	-	12	-	8	-	-	-	-	2	-	-	-
<i>Corallina officinalis</i>	-	-	-	8	-	6	4	-	9	4	4	9	-	-
<i>Costra ulvoide</i>	-	-	-	-	6	14	76	73	12	13	18	9	-	2
<i>Hildenbrandia ssp.</i>	-	-	-	-	-	9	17	8	57	53	60	71	73	6
<i>Montemaria horridula</i>	-	-	-	-	-	-	3	4	14	14	16	7	24	-
<i>Ulva ssp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	9	-	8	-	4	-	-
<i>Jehlius cirratus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	73
<i>Littorina peruviana</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
<i>Roca</i>	-	-	-	65	-	63	-	6	8	8	-	-	-	17

#### 4.2.2 Coberturas de algas e invertebrados en Chañaral norte

El sector norte de la bahía de Chañaral, mostró una diversidad menor de algas e invertebrados que el resto de las localidades analizadas. De hecho, fue muy frecuente encontrar rocas descubiertas en este sector (foto 35). En el mesomareal inferior fueron abundantes los cinturones de los herbívoros *Tegula* sp. y *Prisogaster niger*, las que interactuaban con algas de los géneros *Hildenbrandia* y *Ulva* de pequeño tamaño. *Dictyota dichotoma*, un alga con un potente mecanismo anti-herbivoría, fue observada en ambientes semi-expuestos durante todo el año, como en el mesomareal inferior. El gastrópodo *Littorina* y el cirripedio *Jhelius cirratus* fueron observados en abundancia en el mesomareal superior.



Foto 35. Vista panorámica de algas de los géneros *Hildenbrandia* y *Ulva* en Chañaral norte

**a. Transecto 1**

Tabla 24. Zonación de algas e invertebrados en Chañaral Norte, desde el mesomareal inferior hasta el superior (% cobertura) en el mes de Julio (invierno).

Distancia (cm)	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375
<i>Dictyota dichotoma</i>	82	84	79	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Tegula sp./Prisogaster niger</i>	10	7	6	5	5	5	10	5	1	-	-	-	-	-	-
<i>Hildenbrandia ssp.</i>	8	9	15	58	89	73	15	7	16	-	-	-	-	-	-
<i>Mesophyllum sp.</i>	-	-	-	10	4	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Costra ulvoide</i>	-	-	-	6	2	12	4	5	5	-	-	-	-	-	-
<i>Colpomenia sinuosa</i>	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lottia sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Scurria ssp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-
<i>Jehlius cirratus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	-	10	5	8
<i>Perumytilus purpuratus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
<i>Littorina peruviana</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-
<b>Roca</b>	-	-	-	-	-	-	71	83	77	98	86	100	90	93	92

Tabla 25. Zonación de algas e invertebrados en Chañaral Norte, desde el mesomareal inferior hasta el superior (% cobertura) en el mes de Octubre (primavera).

Distancia (cm)	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375
<i>Dictyota dichotoma</i>	71	17	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Hildenbrandia ssp.</i>	17	75	86	88	85	93	81	78	6	-	-	-	7	-	-
<i>Colpomenia sinuosa</i>	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Glossophora kuntii</i>	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Costra ulvoide</i>	-	-	-	4	7	-	17	10	7	-	-	-	-	-	-
<i>Jehlius cirratus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	2	4	10
<i>Littorina peruviana</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	3	1
<i>Scurria ssp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-
<b>Roca</b>	12	8	4	6	8	7	2	12	83	100	96	100	79	92	89

Tabla 26. Zonación de algas e invertebrados en Chañaral Norte, desde el mesomareal inferior hasta el superior (% cobertura) en el mes de Enero (verano).

Distancia (cm)	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375
<i>Hildenbrandia ssp.</i>	83	81	75	90	83	71	75	22	6	-	-	-	-	-	-
<i>Dictyota dichotoma</i>	17	12	7	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Colpomenia sinuosa</i>	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Anthothoe chilensis</i>	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Costra ulvoide</i>	-	-	4	4	9	12	19	9	9	-	-	-	-	-	-
<i>Ulva ssp.</i>	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	2	-	-	-	-
<i>Jehlius cirratus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	3	6	4	4	8	6	-
<i>Littorina peruviana</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	8	3	3	2	-
<i>Perumytilus purpuratus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
<b>Roca</b>	-	4	8	-	8	17	5	69	82	85	86	93	89	92	100

Tabla 27. Zonación de algas e invertebrados en Chañaral Norte, desde el mesomareal inferior hasta el superior (% cobertura) en el mes de Abril (otoño).

Distancia (cm)	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375
<i>Dictyota dichotoma</i>	70	75	32	42	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Hildenbrandia ssp.</i>	12	12	51	46	52	15	72	19	10	-	-	-	-	-	-
<i>Glossophora kuntii</i>	10	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Tegula sp./Prisogaster niger</i>	8	4	9	4	17	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Phymactis clematis</i>	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Costra ulvoide</i>	-	-	-	8	9	77	22	15	22	22	15	9	-	-	-
<i>Scurria ssp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	9	4	-	-	-	17	12	12
<i>Littorina peruviana</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	17	9	6	15
<i>Jehlius cirratus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	4	9	27	6
<b>Roca</b>	-	-	-	-	14	8	4	57	64	72	71	70	65	55	67



## b. Transecto 2

Tabla 28. Zonación de algas e invertebrados en Chañaral Norte, desde el mesomareal inferior hasta el superior (% cobertura) en el mes de Julio (invierno).

Distancia (cm)	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425
<i>Ulva ssp.</i>	79	86	73	65	68	84	10	7	5	4	6	-	-	-	-	-	-
<i>Hildenbrandia ssp.</i>	14	10	9	25	16	8	76	83	91	91	10	-	-	-	-	-	-
<i>Tegula sp./Prisogaster niger</i>	7	4	6	6	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Mesophyllum sp.</i>	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Scurria ssp.</i>	-	-	-	-	-	2	8	5	-	-	14	24	9	3	8	-	-
<i>Jehlius cirratus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	3	8	7	6	-
<i>Fisurella sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	2	2	-	-
<i>Littorina peruviana</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	6	7	4	11
<i>Roca</i>	-	-	12	4	7	6	6	5	4	5	70	73	82	81	76	90	89

Tabla 29. Zonación de algas e invertebrados en Chañaral Norte, desde el mesomareal inferior hasta el superior (% cobertura) en el mes de Octubre (primavera).

Distancia (cm)	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425
<i>Costra ulvoide</i>	6	14	7	7	15	13	83	7	8	6	-	-	-	-	-	-	-
<i>Hildenbrandia ssp.</i>	58	56	59	67	65	63	10	25	82	89	-	-	-	-	-	-	-
<i>Mesophyllum sp.</i>	14	16	14	10	6	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Dictyota dichotoma</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Colpomenia sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Jehlius cirratus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	10	10	9	4	2
<i>Scurria ssp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	20	9	13	7	-	-
<i>Littorina peruviana</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	14	14	20
<i>Tegula sp./Prisogaster niger</i>	10	14	20	9	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lottia sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	2	-	-	-	-
<i>Calyptraea trochiformis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Roca</i>	12	-	-	7	8	14	7	68	10	5	90	66	79	63	70	82	78

Tabla 30. Zonación de algas e invertebrados en Chañaral Norte, desde el mesomareal inferior hasta el superior (% cobertura) en el mes de Enero (verano).

Distancia (cm)	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425
<i>Mesophyllum sp.</i>	8	7	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Hildenbrandia ssp.</i>	22	44	66	17	19	23	73	16	7	9	84	-	-	-	-	-	-
<i>Tegula sp./Prisogaster niger</i>	4	2	-	4	1	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Costra ulvoide</i>	66	40	21	69	78	61	23	8	9	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ulva ssp.</i>	-	1	3	-	-	2	-	-	-	-	-	8	9	2	17	10	-
<i>Jehlius cirratus</i>	-	-	-	-	-	-	-	1	6	2	4	22	9	9	9	-	-
<i>Littorina peruviana</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	7	12	12	9	-
<i>Roca</i>	-	2	4	10	2	10	4	75	78	89	12	61	75	77	62	81	100

Tabla 31. Zonación de algas e invertebrados en Chañaral Norte, desde el mesomareal inferior hasta el superior (% cobertura) en el mes de Abril (otoño).

Distancia (cm)	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425
<i>Costra ulvoide</i>	74	72	70	50	17	90	72	69	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Hildenbrandia ssp.</i>	17	20	22	38	67	6	12	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Tegula sp./Prisogaster niger</i>	9	8	8	12	16	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Jehlius cirratus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	9	-	24	4	3	5	7	5	4
<i>Scurria ssp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	8	24	9	1	9	9	8	5	3
<i>Littorina peruviana</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	6	32	22	20	18	15	15
<i>Roca</i>	-	-	-	-	-	-	16	9	83	68	61	63	66	66	67	75	78

### 4.2.3 Coberturas de algas e invertebrados en Chañaral sur

La diversidad de especies en este lugar disminuye marcadamente. Los roqueríos analizados desde el punto de vista florístico y faunístico están fuertemente impactados por la dinámica del sedimento, la que involucra eventos de erosión y acreción marcados.

En la parte baja de las rocas se presentó un cinturón de *Mytilus chilensis* -de baja talla- que fue dominante con valores de cobertura de hasta un 80% (foto 36). En el mesomareal medio se caracterizó una franja de alrededor de 1-2 m promedio de *Ulva compressa* en todos los transectos, y aunque estuvo presente durante casi todo el año, el grosor del cinturón así como las tallas de los ejemplares variaron estacionalmente (foto 36). Claramente, además de las variaciones de luz y temperatura, esta localidad estuvo afectada por fenómenos de erosión y acreción de las arenas de la bahía de Chañaral, donde los niveles de arena usualmente varían en varios centímetros de un mes a otro. Ocasionalmente fue posible observar presencia de *Scytosiphon lomentaria* en el mesomareal inferior (especialmente en otoño) con bajas coberturas.



Foto 36. Vista panorámica de algas de los géneros *Mytilus chilensis* y *Ulva compressa* en Chañaral sur.

**a. Transecto 1 Protegido**

Tabla 32. Zonación de algas e invertebrados en Chañaral Sur, desde el mesomareal inferior hasta el superior (% cobertura) en el mes de Julio (invierno).

Distancia (cm)	25	50	75	100	125	150	175	200
<i>Ulva compressa</i>	-	3	82	32	15	11	-	-
<i>Rhodophyceae indeterminada.</i>	-	-	10	-	-	-	-	-
<i>Scurria ssp.</i>	-	-	-	7	1	-	-	-
<i>Mytilus chilensis</i>	-	-	-	-	-	11	-	-
<b>Roca</b>	100	97	8	61	84	78	100	100

Tabla 33. Zonación de algas e invertebrados en Chañaral Sur, desde el mesomareal inferior hasta el superior (% cobertura) en el mes de Octubre (primavera).

Distancia (cm)	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275
<i>Ulva compressa</i>	-	-	10	22	74	55	70	62	-	-	-
<i>Mytilus chilensis</i>	-	-	-	17	14	23	-	-	-	-	-
<i>Scurria ssp.</i>	-	-	-	-	-	13	4	-	-	-	-
<i>Rhodophyceae indeterminada.</i>	-	-	-	-	-	-	14	23	-	-	-
<b>Roca</b>	100	100	90	38	12	9	12	15	100	100	100

Tabla 34. Zonación de algas e invertebrados en Chañaral Sur, desde el mesomareal inferior hasta el superior (% cobertura) en el mes de Enero (verano).

Distancia (cm)	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275
<b>Arena</b>	50	50	50	33	50	21	-	-	-	-	-
<b>Mytilus chilensis</b>	-	-	-	19	17	29	8	-	-	-	-
<b>Ulva compressa</b>	-	-	-	8	9	17	19	9	6	-	-
<b>Scurria ssp.</b>	-	-	-	-	-	-	6	4	-	-	-
<b>Rhodophyceae indeterminada.</b>	-	-	-	-	-	-	-	14	78	-	-
<b>Jehlius cirratus</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-
<b>Roca</b>	50	50	50	40	24	33	67	73	14	100	100

Tabla 35. Zonación de algas e invertebrados en Chañaral Sur, desde el mesomareal inferior hasta el superior (% cobertura) en el mes de Abril (otoño).

Distancia (cm)	25	50	75	100	125
<b>Mytilus chilensis</b>	48	8	-	-	-
<b>Ulva compressa</b>	27	72	68	-	-
<b>Arena</b>	25	-	-	-	-
<b>Scurria ssp.</b>	-	4	2	-	-
<b>Jehlius cirratus</b>	-	-	16	8	-
<b>Rhodophyceae indeterminada.</b>	-	-	-	82	11
<b>Roca</b>	-	16	14	10	89

**b. Transecto 2 Semiexpuesto**

Tabla 36. Zonación de algas e invertebrados en Chañaral Sur, desde el mesomareal inferior hasta el superior (% cobertura) en el mes de Julio (invierno).

Distancia (cm)	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275
<b><i>Ulva compressa</i></b>	99	88	94	79	68	79	87	27	-	7	-
<b><i>Scurria ssp.</i></b>	-	-	-	7	3	-	-	-	-	-	-
<b><i>Rhodophyceae indeterminada</i></b>	-	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-
<b><i>Roca</i></b>	-	10	3	10	24	5	6	65	100	93	-

Tabla 37. Zonación de algas e invertebrados en Chañaral Sur, desde el mesomareal inferior hasta el superior (% cobertura) en el mes de Octubre (primavera).

Distancia (cm)	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325
<b><i>Ulva compressa</i></b>	-	17	82	80	84	66	10	22	74	76	16	10	6
<b><i>Mytilus chilensis</i></b>	-	-	14	14	7	-	-	-	-	-	-	-	-
<b><i>Rhodophyceae indeterminada</i></b>	100	-	-	-	-	12	74	67	19	14	10	-	-
<b><i>Rhodophyceae indeterminada</i></b>	-	-	-	-	-	9	4	-	-	-	-	-	-
<b><i>Jehlius cirratus</i></b>	-	-	-	-	-	-	-	4	4	-	-	-	-
<b><i>Roca</i></b>	-	83	4	6	9	13	12	7	3	10	74	90	94

Tabla 38. Zonación de algas e invertebrados en Chañaral Sur, desde el mesomareal inferior hasta el superior (% cobertura) en el mes de Enero (verano).

Distancia (cm)	25	50	75	100	125	150	175	200	225
<i>Ulva compressa</i>	-	24	9	6	4	-	-	-	-
<i>Mytilus chilensis</i>	-	8	17	-	-	-	-	-	-
<i>Scytosiphon lomentaria</i>	-	-	8	-	-	-	-	-	-
<i>Rhodophyceae indeterminada</i>	-	-	4	22	8	4	7	2	-
<b>Roca/Arena</b>	100	68	62	72	88	96	93	98	100

Tabla 39. Zonación de algas e invertebrados en Chañaral Sur, desde el mesomareal inferior hasta el superior (% cobertura) en el mes de Abril (otoño).

Distancia (cm)	25	50	75	100	125	150	175	200
<i>Mytilus chilensis</i>	92	25	-	-	-	-	-	-
<i>Ulva compressa</i>	8	63	53	9	9	8	-	-
<i>Scurria ssp.</i>	-	12	9	-	-	-	-	9
<i>Jehlius cirratus</i>	-	-	16	32	15	9	15	16
<i>Rhodophyceae indeterminada</i>	-	-	-	14	68	13	14	13
<b>Roca</b>	-	-	22	45	8	70	71	62

**c. Transecto 3 Semiexpuesto**

Tabla 40. Zonación de algas e invertebrados en Chañaral Sur, desde el mesomareal inferior hasta el superior (% cobertura) en el mes de Julio (invierno).

Distancia (cm)	25	50	75	100	125	150	175	200	225
<b><i>Ulva compressa</i></b>	1	2	3	5	7	13	13	8	-
<b><i>Scurria ssp.</i></b>	-	-	10	8	14	15	3	-	-
<b><i>Rhodophyceae indeterminada</i></b>	-	-	-	4	7	10	7	-	-
<b><i>Roca</i></b>	99	98	87	83	72	62	77	92	-

Tabla 41. Zonación de algas e invertebrados en Chañaral Sur, desde el mesomareal inferior hasta el superior (% cobertura) en el mes de Octubre (primavera).

Distancia (cm)	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375
<b><i>Ulva compressa</i></b>	-	-	-	-	-	40	12	-	18	9	16	10	14	19	-
<b><i>Jehlius cirratus</i></b>	-	-	-	-	-	-	10	38	22	-	-	-	-	-	-
<b><i>Scurria ssp.</i></b>	-	-	-	-	-	-	-	-	14	10	14	8	8	2	-
<b><i>Rhodophyceae indeterminada</i></b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	14	20	-
<b><i>Roca</i></b>	100	100	100	100	100	60	78	62	46	81	70	66	64	59	100



Tabla 42. Zonación de algas e invertebrados en Chañaral Sur, desde el mesomareal inferior hasta el superior (% cobertura) en el mes de Enero (verano).

Distancia (cm)	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250
<i>Mytilus chilensis</i>	-	27	24	20	-	-	-	-	-	-
<i>Ulva compressa</i>	-	9	24	28	79	14	19	9	-	-
<i>Scytosiphon lomentaria</i>	-	-	2	2	2	-	-	-	-	-
<i>Rhodophyceae indeterminada</i>	-	-	-	-	-	12	24	83	14	4
<i>Scurria ssp.</i>	-	-	-	-	-	-	3	-	3	-
<b>Roca/arena</b>	100	64	50	50	19	74	54	8	83	96

Tabla 43. Zonación de algas e invertebrados en Chañaral Sur, desde el mesomareal inferior hasta el superior (% cobertura) en el mes de Abril (otoño).

Distancia (cm)	25	50	75	100	125	150
<i>Mytilus chilensis</i>	15	-	-	-	-	-
<i>Ulva compressa</i>	12	-	2	-	-	2
<i>Scurria ssp.</i>	-	27	15	9	14	-
<i>Jehlius cirratus</i>	-	-	11	-	6	-
<i>Rhodophyceae indeterminada</i>	-	-	-	6	17	4
<b>Roca</b>	73	73	72	85	63	94

#### d. Transecto 4 Expuesto

Tabla 44. Zonación de algas e invertebrados en Chañaral Sur, desde el mesomareal inferior hasta el superior (% cobertura) en el mes de Julio (invierno).

Distancia (cm)	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400
<i>Ulva compressa</i>	-	90	14	11	7	9	7	7	79	19	17	66	78	28	81	4
<i>Mytilus chilensis</i>	-	10	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Scurria ssp.</i>	-	-	15	10	5	15	24	16	10	-	-	2	6	4	-	-
<i>Rhodophyceae indeterminada</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	73	2	-	-	-	-
<b>Roca</b>	100	-	61	79	88	76	69	77	11	78	10	30	16	68	19	96

Tabla 45. Zonación de algas e invertebrados en Chañaral Sur, desde el mesomareal inferior hasta el superior (% cobertura) en el mes de Octubre (primavera).

Distancia (cm)	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400
<b>Arena</b>	74	83	54	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ulva compressa</i>	10	10	16	12	3	10	8	4	11	18	57	16	21	18	19	77
<i>Mytilus chilensis</i>	-	-	14	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Scurria ssp.</i>	-	-	7	7	4	8	15	18	10	12	12	-	2	4	4	6
<i>Rhodophyceae indeterminada</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	4	16	16	67	12	14	-	-
<i>Jehlius cirratus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	8	8
<b>Roca</b>	16	7	9	64	93	82	77	78	75	54	15	9	65	64	69	9

Tabla 46. Zonación de algas e invertebrados en Chañaral Sur, desde el mesomareal inferior hasta el superior (% cobertura) en el mes de Enero (verano).

	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325
<i>Ulva compressa</i>	-	17	29	25	17	9	8	8	6	-	-	-	4
<i>Mytilus chilensis</i>	-	10	24	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Scytosiphon lomentaria</i>	-	-	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Scurria ssp.</i>	-	-	-	12	4	24	32	16	4	9	8	7	7
<i>Rhodophyceae indeterminada</i>	-	-	-	-	-	-	-	6	8	68	30	-	-
<i>Jehlius cirratus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	4	6	-	12	8
<b>Roca</b>	100	73	35	54	79	67	60	70	78	17	62	81	81

Tabla 47. Zonación de algas e invertebrados en Chañaral Sur, desde el mesomareal inferior hasta el superior (% cobertura) en el mes de Abril (otoño).

	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300
<i>Ulva compressa</i>	22	14	12	13	2	3	-	-	-	-	-	3
<i>Mytilus chilensis</i>	15	9	2	7	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Scytosiphon lomentaria</i>	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Scurria ssp.</i>	4	22	19	19	17	15	6	9	6	2	6	6
<i>Jehlius cirratus</i>	-	-	-	-	22	-	3	4	-	4	9	2
<i>Rhodophyceae indeterminada</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	17	-	-	9
<b>Roca</b>	45	55	67	61	59	82	91	87	77	94	85	80

#### 4.2.4 Coberturas de algas e invertebrados en Las Pocitas

En las Pocitas se pudo apreciar un aumento en la diversidad de especies dominantes del intermareal, como son los géneros *Mesophyllum*, *Hildenbrandia* y *Ulva* (foto 37), los que junto a anemonas de los géneros *Anemonia* fueron abundantes en el mesomareal inferior del ambiente protegido. En el Transecto expuesto además de estas especies fue posible observar *Lessonia nigrescens* (foto 37) e invertebrados herbívoros *Loxechinus albus* (erizo) y *Calyptraea trochiformis*. Hacia el mesomareal medio especies de *Montemaria*, *Ulva*, *Hildenbrandia* y en el mesomareal superior cirripedios *Jhelius cirratus* y caracoles de los géneros, *Littorina* y *Scurria* fueron los más abundantes.



Foto 37. Vista panorámica de algas de los géneros *Lessonia*, *Hildenbrandia* y *Ulva* en Las Pocitas

**a. Transecto 1 Protegido**

Tabla 48. Zonación de algas e invertebrados en Las Pocitas, desde el mesomareal inferior hasta el superior (% cobertura) en el mes de Julio (invierno).

Distancia (cm)	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375
<i>Lessonia nigrescens</i>	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ulva ssp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33	35	35	30	-	-
<i>Jehlius cirratus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	-	-
<i>Porphyra columbina</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	60	36
<i>Hildenbrandia ssp.</i>	54	60	63	54	60	63	55	48	43	19	4	-	-	-	-
<i>Costra ulvoide</i>	12	15	17	14	15	17	24	31	30	22	12	-	-	-	-
<i>Montemaria horridula</i>	8	15	12	17	19	17	16	20	25	6	1	-	-	-	-
<i>Scurria ssp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	8	-	-
<i>Littorina peruviana</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	4
<i>Roca</i>	6	10	8	15	6	3	5	1	2	20	48	59	42	30	60

Tabla 49. Zonación de algas e invertebrados en Las Pocitas, desde el mesomareal inferior hasta el superior (% cobertura) en el mes de Octubre (primavera).

Distancia (cm)	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375
<i>Hildenbrandia ssp.</i>	69	67	71	80	80	73	6	55	-	-	-	-	-	-	-
<i>Montemaria horridula</i>	15	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ulva ssp.</i>	12	12	19	15	7	9	17	17	6	17	19	3	2	-	-
<i>Anemonia alicemartinae</i>	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Costra ectocarpoide</i>	-	4	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-
<i>Jehlius cirratus</i>	-	-	-	2	3	6	8	11	14	8	9	6	6	1	-
<i>Porphyra columbina</i>	-	-	-	-	-	-	-	5	7	7	4	81	8	3	-
<i>Scurria ssp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	2	-	-	-
<i>Littorina peruviana</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-
<i>Roca</i>	-	-	10	3	10	12	69	12	71	62	68	8	84	89	100

Tabla 50. Zonación de algas e invertebrados en Las Pocitas, desde el mesomareal inferior hasta el superior (% cobertura) en el mes de Enero (verano).

Distancia (cm)	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375
<i>Ulva ssp.</i>	84	80	9	24	3	-	2	4	-	22	7	6	-	-	-
<i>Hildenbrandia ssp.</i>	12	18	83	63	10	-	-	12	-	-	-	-	6	74	-
<i>Anemonia alicemartinae</i>	4	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Jehlius cirratus</i>	-	-	2	-	-	6	83	9	6	-	22	8	9	-	-
<i>Costra ectocarpoide</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	7	7	-	-	-
<i>Littorina peruviana</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	6	9
<i>Scurria ssp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	3	-
<i>Roca</i>	-	-	6	13	87	94	15	75	94	63	64	79	80	17	91

Tabla 51. Zonación de algas e invertebrados en Las Pocitas, desde el mesomareal inferior hasta el superior (% cobertura) en el mes de Abril (otoño).

Distancia (cm)	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375
<i>Ulva ssp.</i>	6	8	12	9	6	4	-	16	20	-	-	10	9	8	8
<i>Costra ulvoide</i>	3	4	4	3	3	6	4	4	-	-	-	-	-	-	-
<i>Hildenbrandia ssp.</i>	2	3	4	3	2	8	30	-	55	2	-	-	-	-	-
<i>Ralfsia sp.</i>	-	-	-	-	-	8	-	-	25	94	5	2	-	-	-
<i>Heliaster helianthus</i>	-	-	-	-	-	4	2	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Montemaria horridula</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-
<i>Scurria ssp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	2	-	-	-
<i>Roca</i>	89	85	80	85	89	70	64	80	-	-	95	86	91	92	92

### b. Transecto 2 Expuesto

Tabla 52. Zonación de algas e invertebrados en Las Pocitas, desde el mesomareal inferior hasta el superior (% cobertura) en el mes de Julio (invierno).

Distancia (cm)	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425
<i>Lessonia nigrescens</i>	100	100	100	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Montemaria horridula</i>	-	-	-	-	100	76	84	14	8	7	-	-	-	-	-	-	-
<i>Hildenbrandia ssp.</i>	-	-	-	-	-	10	6	62	4	73	-	-	-	15	73	6	10
<i>Costra ulvoide</i>	-	-	-	-	-	14	10	16	-	14	8	-	-	-	-	-	-
<i>Calyptrea trochiformis</i>	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Jehlius cirratus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	4	-	-	-	13	4	2
<i>Ulva ssp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	88	93	86	69	12	84	88
<i>Heliaster helianthus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	-	-	-
<i>Porphyra columbina</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	3	-
<i>Scurria ssp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-
<i>Roca</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	14	-	-	-	-

Tabla 53. Zonación de algas e invertebrados en Las Pocitas, desde el mesomareal inferior hasta el superior (% cobertura) en el mes de Octubre (primavera).

Distancia (cm)	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425
<i>Lessonia nigrescens</i>	100	100	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ulva ssp.</i>	-	-	-	8	14	14	10	8	10	12	23	89	86	79	15	10	-
<i>Montemaria horridula</i>	-	-	-	18	19	65	71	10	14	-	20	-	-	-	-	-	-
<i>Hildenbrandia ssp.</i>	-	-	-	74	55	12	7	66	67	67	51	7	12	-	-	-	-
<i>Costra ulvoide</i>	-	-	-	-	12	9	12	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Corallina officinalis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	9	4	-	-	-	-	-	-	-
<i>Calyptrea trochiformis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-
<i>Fisurella sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
<i>Jehlius cirratus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	6	-	-	4	3	3	-
<i>Porphyra columbina</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2	5	-	-
<i>Roca</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	-	4	-	15	77	87	100

Tabla 54. Zonación de algas e invertebrados en Las Pocitas, desde el mesomareal inferior hasta el superior (% cobertura) en el mes de Enero (verano).

Distancia (cm)	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425
<i>Lessonia nigrescens</i>	100	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Costra ulvoide</i>	-	-	69	63	9	17	24	12	-	12	-	-	-	-	-	-	-
<i>Hildenbrandia ssp.</i>	-	-	18	22	47	21	-	6	6	34	14	-	-	-	-	-	-
<i>Mesophyllum sp.</i>	-	-	9	9	8	17	12	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Anemonia alicemartinae</i>	-	-	4	-	-	2	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Montemaria horridula</i>	-	-	-	6	22	17	-	51	77	9	-	4	4	-	-	-	-
<i>Ulva ssp.</i>	-	-	-	-	14	22	8	22	8	32	21	77	9	-	-	-	-
<i>Heliaster helianthus</i>	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Corallina officinalis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	9	9	57	-	-	-	-	-	-
<i>Jehlius cirratus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	8	6	8	-	-	-	-
<i>Roca</i>	-	-	-	-	-	-	47	-	-	-	-	13	79	100	100	100	100

Tabla 55. Zonación de algas e invertebrados en Las Pocitas, desde el mesomareal inferior hasta el superior (% cobertura) en el mes de Abril (otoño).

Distancia (cm)	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425
<i>Lessonia nigrescens</i>	100	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ulva ssp.</i>	-	-	35	10	-	-	-	-	19	57	48	36	24	12	-	-	-
<i>Montemaria horridula</i>	-	-	28	63	30	30	65	22	11	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Costra ulvoide</i>	-	-	25	30	28	47	9	56	43	16	22	24	14	-	-	-	-
<i>Hildenbrandia ssp.</i>	-	-	12	13	42	19	14	22	17	8	30	28	12	8	-	-	-
<i>Mesophyllum sp.</i>	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Heliaster helianthus</i>	-	-	-	-	-	4	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Jehlius cirratus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	10	19	-	-	-	15	-	-	-
<i>Corallina officinalis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	-	-	-	-	-
<i>Roca</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50	65	100	100	100



#### 4.2.5 Coberturas de algas e invertebrados en Las Lisas

Al igual que en el área de muestreo Pan de Azúcar, las especies predominantes en el mesomareal inferior protegido fueron las algas *Ulva*, *Mesophyllum* y *Hildenbrandia* (foto 38). En el ambiente expuesto, en cambio, *Lessonia nigrescens* es dominante en cobertura. Hacia el mesomareal medio y superior dominan las especies de invertebrados *Littorina*, *Scurria* y *Jhelius cirratus*. En esta localidad fue posible apreciar la especie *Porphyra columbina*, la que fue especialmente abundante en el mesomareal alto en periodos de invierno y primavera.



Foto 38. Vista panorámica de algas de los géneros *Lessonia*, *Mesophyllum*, *Hildenbrandia* y *Ulva* en Las Lisas

**a. Transecto 1 Zona de rocío**

Tabla 56. Zonación de algas e invertebrados en Las Lisas, desde el mesomareal inferior hasta el superior (% cobertura) en el mes de Julio (invierno).

Distancia (cm)	25	50	75	100	125	150	175	200	225
<i>Hildenbrandia ssp.</i>	94	9	29	-	-	-	-	-	-
<i>Porphyra columbina</i>	3	14	2	14	7	-	8	20	13
<i>Ulva ssp.</i>	3	7	3	-	-	-	-	-	-
<i>Jehlius cirratus</i>	-	-	2	-	-	4	12	5	7
<i>Scurria ssp.</i>	-	-	-	1	-	-	-	-	-
<i>Littorina peruviana</i>	-	-	-	6	4	6	3	-	-
<i>Roca</i>	-	70	64	79	89	90	77	75	80

Tabla 57. Zonación de algas e invertebrados en Las Lisas, desde el mesomareal inferior hasta el superior (% cobertura) en el mes de Octubre (primavera).

Distancia (cm)	25	50	75	100	125	150	175	200	225
<i>Hildenbrandia ssp.</i>	58	8	76	18	10	58	83	18	9
<i>Mesophyllum sp.</i>	22	6	14	6	-	-	-	-	-
<i>Costra ulvoide</i>	14	66	10	14	14	12	7	6	-
<i>Anemonia alicemartinae</i>	6	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Montemaria horridula</i>	-	-	-	62	70	14	-	-	-
<i>Ulva ssp.</i>	-	-	-	-	-	-	3	-	-
<i>Porphyra columbina</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	5
<i>Jehlius cirratus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	2
<i>Roca</i>	-	20	-	-	6	16	7	76	84

Tabla 58. Zonación de algas e invertebrados en Las Lisas, desde el mesomareal inferior hasta el superior (% cobertura) en el mes de Enero (verano).

Distancia (cm)	25	50	75	100	125	150	175	200	225
<i>Hildenbrandia ssp.</i>	71	49	75	25	22	72	81	17	9
<i>Costra ulvoide</i>	17	32	17	15	7	13	6	-	-
<i>Anemonia alicemartinae</i>	8	10	-	-	-	-	-	-	-
<i>Montemaria horridula</i>	-	-	-	-	14	9	-	-	-
<i>Roca</i>	4	9	8	60	57	6	13	83	91

Tabla 59. Zonación de algas e invertebrados en Las Lisas, desde el mesomareal inferior hasta el superior (% cobertura) en el mes de Abril (otoño).

Distancia (cm)	25	50	75	100	125	150	175	200	225
<i>Costra ulvoide</i>	34	22	9	8	17	9	-	-	-
<i>Hildenbrandia ssp.</i>	36	78	79	14	36	67	86	-	-
<i>Anemonia alicemartinae</i>	-	-	4	-	-	-	-	-	-
<i>Ulva ssp.</i>	-	-	-	-	14	6	-	-	3
<i>Montemaria horridula</i>	-	-	-	-	24	18	6	-	-
<i>Enoplochiton niger</i>	-	-	-	-	-	-	-	22	-
<i>Littorina peruviana</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	4
<i>Roca</i>	30	-	8	78	9	-	8	78	93

**b. Transecto 2 Protegido**

Tabla 60. Zonación de algas e invertebrados en Las Lisas, desde el mesomareal inferior hasta el superior (% cobertura) en el mes de Julio (invierno).

Distancia (cm)	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350
<i>Lessonia nigrescens</i>	100	100	100	81	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Hildenbrandia ssp.</i>	-	-	-	9	6	3	8	5	-	-	-	-	-	-
<i>Mesophyllum sp.</i>	-	-	-	10	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ulva ssp.</i>	-	-	-	-	20	97	92	91	6	-	-	-	-	-
<i>Jehlius cirratus</i>	-	-	-	-	-	-	-	4	3	3	2	2	-	-
<i>Scurria ssp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	5	3	-	-	-	-
<i>Porphyra columbina</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	5	12	7	1	2	-
<i>Littorina peruviana</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	5	8	-
<i>Roca</i>	-	-	-	-	66	-	-	-	81	82	85	92	90	100

Tabla 61. Zonación de algas e invertebrados en Las Lisas, desde el mesomareal inferior hasta el superior (% cobertura) en el mes de Octubre (primavera).

Distancia (cm)	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350
<i>Lessonia nigrescens</i>	100	96	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Mesophyllum sp.</i>	-	4	-	13	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Hildenbrandia ssp.</i>	-	-	-	46	60	48	7	9	13	4	-	-	-	-
<i>Costra ulvoide</i>	-	-	-	13	8	38	81	55	-	-	-	-	-	-
<i>Montemaria horridula</i>	-	-	-	20	16	10	4	8	-	-	-	-	-	-
<i>Ulva ssp.</i>	-	-	-	8	6	4	6	14	13	-	-	-	-	-
<i>Porphyra columbina</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	6	7	7	2	2	-
<i>Jehlius cirratus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	4	1	-	-
<i>Littorina peruviana</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	4	2
<i>Roca</i>	-	-	-	-	-	-	2	14	68	83	89	91	94	98

Tabla 62. Zonación de algas e invertebrados en Las Lisas, desde el mesomareal inferior hasta el superior (% cobertura) en el mes de Enero (verano).

Distancia (cm)	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350
<b><i>Costra ulvoide</i></b>	55	18	22	45	73	16	51	13	17	6	-	-	-	-
<b><i>Montemaria horridula</i></b>	22	9	19	32	24	30	17	-	-	-	-	-	-	-
<b><i>Hildenbrandia ssp.</i></b>	14	17	18	14	3	12	8	8	6	-	-	-	-	-
<b><i>Mesophyllum sp.</i></b>	9	56	41	9	-	25	-	-	-	-	-	-	-	-
<b><i>Ulva ssp.</i></b>	-	-	-	-	-	14	-	-	-	-	-	-	-	-
<b><i>Corallina officinalis</i></b>	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-
<b><i>Jehlius cirratus</i></b>	-	-	-	-	-	-	9	14	13	9	7	1	-	-
<b><i>Littorina peruviana</i></b>	-	-	-	-	-	-	-	-	2	4	2	3	-	-
<b><i>Porphyra columbina</i></b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
<b>Roca</b>	-	-	-	-	-	-	15	65	62	80	91	96	100	100

Tabla 63. Zonación de algas e invertebrados en Las Lisas, desde el mesomareal inferior hasta el superior (% cobertura) en el mes de Abril (otoño).

Distancia (cm)	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350
<b><i>Anemonia alicemartinae</i></b>	8	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b><i>Mesophyllum sp.</i></b>	22	29	14	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-
<b><i>Costra ulvoide</i></b>	4	14	18	19	14	75	9	21	-	-	-	-	-	-
<b><i>Hildenbrandia ssp.</i></b>	66	35	49	59	70	7	72	43	17	-	3	3	-	-
<b><i>Montemaria horridula</i></b>	-	-	19	22	12	12	19	12	-	-	-	-	-	-
<b><i>Ulva ssp.</i></b>	-	-	-	-	4	-	-	24	29	19	-	-	-	-
<b><i>Littorina peruviana</i></b>	-	-	-	-	-	-	-	-	2	3	19	28	8	14
<b><i>Jehlius cirratus</i></b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	8	-	4	9
<b><i>Enoplochiton niger</i></b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	7	4	-	-
<b>Roca</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	52	60	63	65	88	77

**c. Transecto 3 Expuesto**

Tabla 64. Zonación de algas e invertebrados en Las Lisas, desde el mesomareal inferior hasta el superior (% cobertura) en el mes de Julio (invierno).

Distancia (cm)	25	50	75	100	125	150	175	200
<i>Hildenbrandia ssp.</i>	-	6	3	8	5	-	-	-
<i>Ulva ssp.</i>	-	15	97	92	91	6	-	-
<i>Lessonia nigrescens</i>	100	-	-	-	-	-	-	-
<i>Mesophyllum sp.</i>	-	8	-	-	-	-	-	-
<i>Porphyra columbina</i>	-	-	-	-	-	5	12	7
<i>Jehlius cirratus</i>	-	-	-	-	4	-	3	-
<i>Scurria ssp.</i>	-	-	-	-	-	5	3	-
<i>Littorina peruviana</i>	-	-	-	-	-	-	-	6
<b>Roca</b>	-	66	-	-	-	84	82	87

Tabla 65. Zonación de algas e invertebrados en Las Lisas, desde el mesomareal inferior hasta el superior (% cobertura) en el mes de Octubre (primavera).

Distancia (cm)	25	50	75	100	125	150	175	200
<i>Lessonia nigrescens</i>	100	-	-	-	-	-	-	-
<i>Hildenbrandia ssp.</i>	-	84	94	81	72	-	-	-
<i>Ulva ssp.</i>	-	-	-	2	2	12	-	-
<i>Jehlius cirratus</i>	-	-	-	4	-	4	6	9
<i>Porphyra columbina</i>	-	-	-	3	12	6	20	2
<i>Scurria ssp.</i>	-	-	-	-	-	-	3	-
<i>Littorina peruviana</i>	-	4	-	-	-	-	8	11
<b>Roca</b>	-	12	6	10	14	78	63	78

Tabla 66. Zonación de algas e invertebrados en Las Lisas, desde el mesomareal inferior hasta el superior (% cobertura) en el mes de Enero (verano).

Distancia (cm)	25	50	75	100	125	150	175	200
<i>Lessonia nigrescens</i>	100	-	-	-	-	-	-	-
<i>Hildenbrandia ssp.</i>	-	75	33	36	4	4	-	-
<i>Jehlius cirratus</i>	-	4	2	7	3	10	4	6
<i>Scurria ssp.</i>	-	2	-	-	-	-	-	-
<i>Porphyra columbina</i>	-	-	3	-	8	7	2	-
<i>Littorina peruviana</i>	-	-	-	-	-	3	3	-
<b>Roca</b>	-	19	62	57	85	76	91	94

Tabla 67. Zonación de algas e invertebrados en Las Lisas, desde el mesomareal inferior hasta el superior (% cobertura) en el mes de Abril (otoño).

Distancia (cm)	25	50	75	100	125	150	175	200
<i>Lessonia nigrescens</i>	100	-	-	-	-	-	-	-
<i>Hildenbrandia ssp.</i>	-	75	33	36	4	4	-	-
<i>Jehlius cirratus</i>	-	4	2	7	3	10	4	6
<i>Scurria ssp.</i>	-	2	-	-	-	-	-	-
<i>Porphyra columbina</i>	-	-	3	-	8	7	2	-
<i>Littorina peruviana</i>	-	-	-	-	-	3	3	-
<b>Roca</b>	-	19	62	57	85	76	91	94

### 4.3 Repoblamiento de *L. nigrescens* en Chañaral norte y Las Lisas.

En las siguientes secciones se muestra el repoblamiento de *L. nigrescens* bajo diferentes tratamientos, y en dos localidades. Para una mejor visualización de los resultados estos se agruparon en: 1) repoblamiento en bolones, 2) repoblamiento en roca maciza, ambos en Chañaral norte, y 3) repoblamiento en Las Lisas. Al final, en la tabla 68, se resumen las sobrevivencias de cada experiencia.

#### 4.3.1 Repoblamiento en Chañaral norte sobre bolones

Los tratamientos de siembra sobre bolones montados en los meses de Junio y Julio (foto 39) mostraron una baja en sus longitudes los primeros meses, así como grandes mortalidades (fig. 40). Esto probablemente por la acción de herbívoros (*Tegula ssp.*, *Prisogaster niger*) o presencia de peces herbívoros (foto 40). Tanto la longitud de los discos de fijación y número de estipes ha aumentado, lo cual indica que los tratamientos no solo se lograron fijar sino además crecer en el nuevo sustrato (foto 41). De hecho, la madurez sexual en estos tratamientos es de 100% a partir de enero 2013 (fig. 43). En los meses siguientes (agosto 2012) las plantas sobrevivientes de estos tratamientos fueron trasladados a zonas más expuestas, donde lograron recuperar su crecimiento y mejorar su aspecto (tabla 69). Actualmente (Junio 2013) las plantas alcanzan tallas de 60 – 70 cm, 9 – 10 cm de disco de fijación y 30 – 40 estipes (figs. 40 – 42). No hubo diferencias marcadas entre los crecimientos usando elásticos o pegamentos.



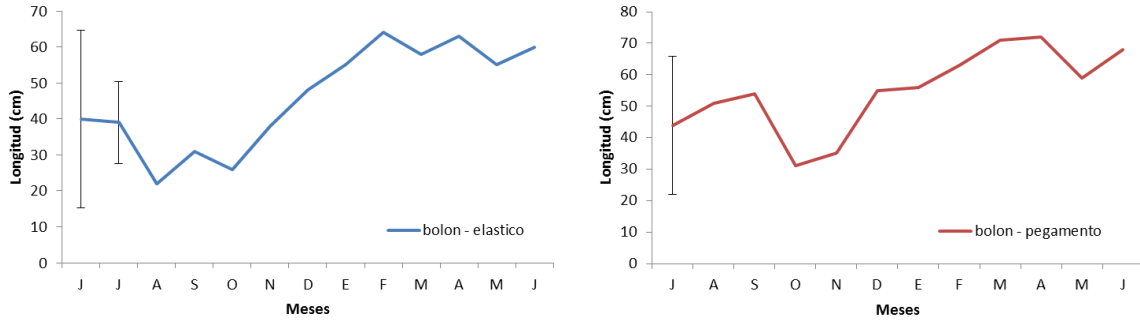


Fig. 40. Crecimiento promedio (en longitud total; cm) de fragmentos de *L. nigrescens* sembrado en la localidad de Chañaral norte para repoblamiento (tratamiento con bolones).

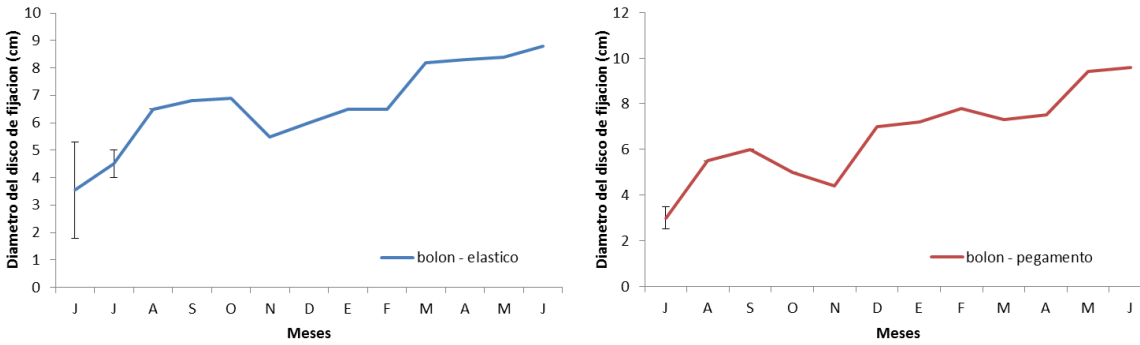


Fig. 41. Crecimiento promedio del grampón (en longitud; cm) de fragmentos de discos de fijación de *L. nigrescens* sembrado en la localidad de Chañaral norte para repoblamiento (tratamiento con bolones).

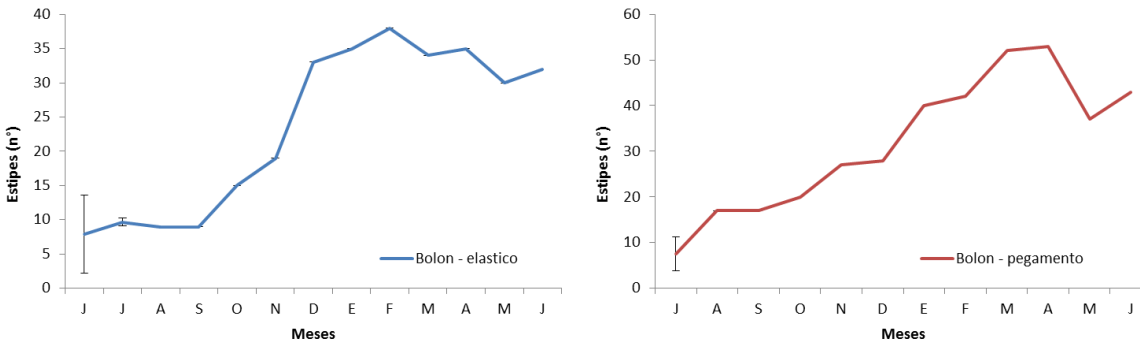


Fig. 42. Incremento de la cantidad de estipes de fragmentos de discos de fijación de *L. nigrescens* sembradas en la localidad de Chañaral norte para repoblamiento (tratamiento con bolones).

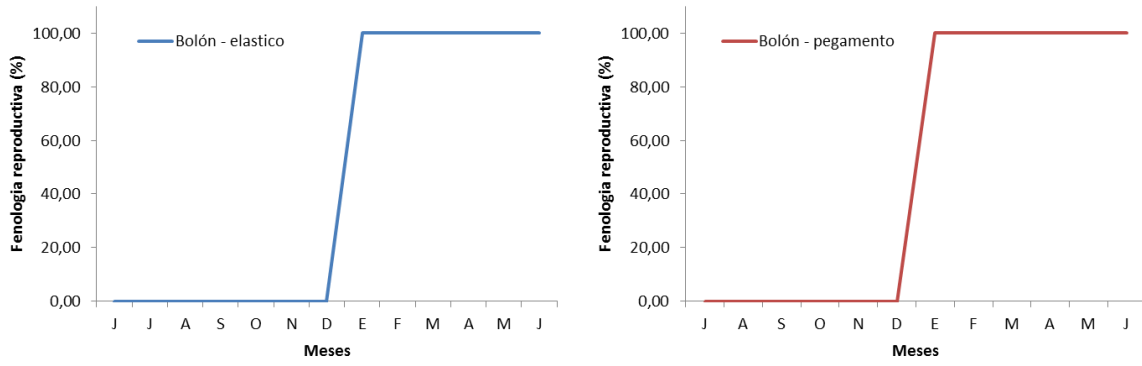


Fig. 43. Fenología reproductiva (% de plantas reproductivas) de tratamientos experimentales de *L. nigrescens* sembrado en la localidad de Chañaral norte (tratamiento con bolones).



Foto 39. Estado inicial de *L. nigrescens* sembrada sobre bolones



Foto 40. Apariencia de ejemplares afectados por herbivoría de moluscos y peces



Foto 41. Estado avanzado de *L. nigrescens* sembrada sobre bolones

#### 4.3.2 Repoblamiento en Chañaral norte sobre roca maciza

Los resultados de las siembras realizadas sobre roca maciza se muestran en la figuras 44 - 47. El repoblamiento sobre roca maciza (I), mostró una mortalidad total en poco tiempo (2 meses; foto 45), dado un efecto sinérgico de herbívoros y la desecación prolongada.

Sembrando plantas cercanas a parches de *Dictyota dichotoma* (tratamientos de roca maciza II, III y IV), se ha observado mejores resultados (foto 46). En el tratamiento sobre roca maciza (II) se logró disminuir la mortalidad, y las plantas sobrevivientes alcanzaron los 80 cm de longitud, 10 cm de disco de fijación, 25 estipes, con un 80 % de plantas reproductivas (figs. 44 - 46).

En las siembras primaverales (roca maciza III y IV) los resultados fueron mejorando (fotos 42-44). Se observó un incremento en las longitudes de las frondas en los meses de septiembre – diciembre, y un estancamiento en los meses de verano tardío y de otoño (foto 47). Actualmente estas plantas sobrepasan los 90 cm de longitud, 9 cm de grampón y 35 de estipes (Figs. 44 - 46). Los individuos reproductivos están entre 80 – 100%, mientras que las sobrevivencias son del orden del 60% (fig. 47, tabla 69).

La siembra de verano (roca maciza V), ha presentado sobrevivencias sobre el 70%. Estos individuos aumentaron en todos los indicadores evaluados, especialmente el disco de fijación que creció del orden de 3 veces desde que se plantaron. En el mes Junio las plantas han alcanzado sus máximos valores: sobre 75 cm de longitud (fig. 44), 6 cm de disco de fijación (fig. 45) y cerca de 25 estipes en promedio (fig. 46). Aproximadamente el 50% de los individuos se encuentran reproductivos (fig. 47; fotos 48 y 49).

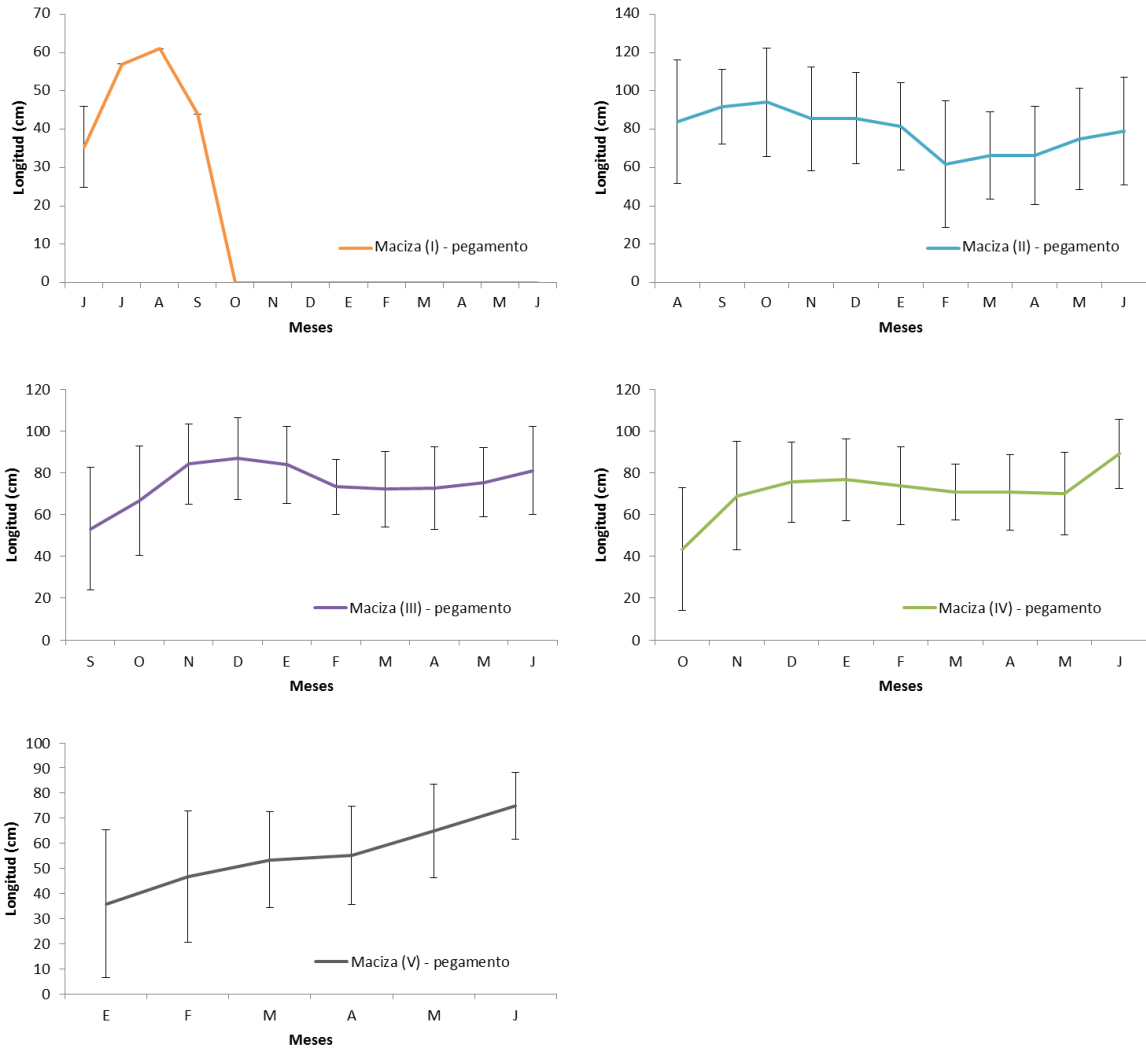


Fig. 44. Crecimiento promedio (en longitud total; cm) de fragmentos de *L. nigrescens* sembrado en la localidad de Chañaral norte para repoblamiento (tratamientos con roca maciza).

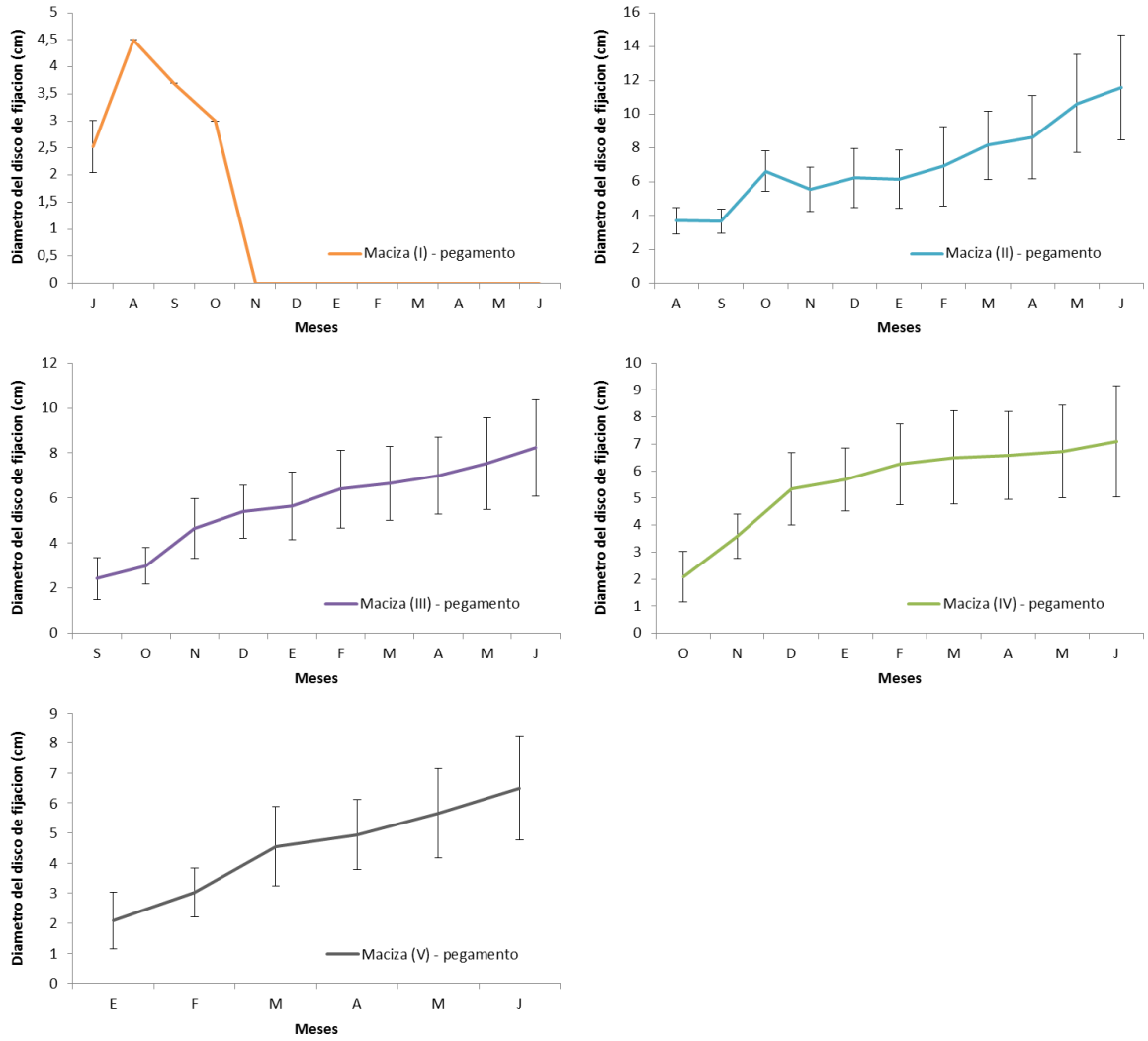


Fig. 45. Crecimiento promedio del grampón (en longitud; cm) de fragmentos de discos de fijación de *L. nigrescens* sembrado en la localidad de Chañaral norte para repoblamiento (tratamientos con roca maciza).

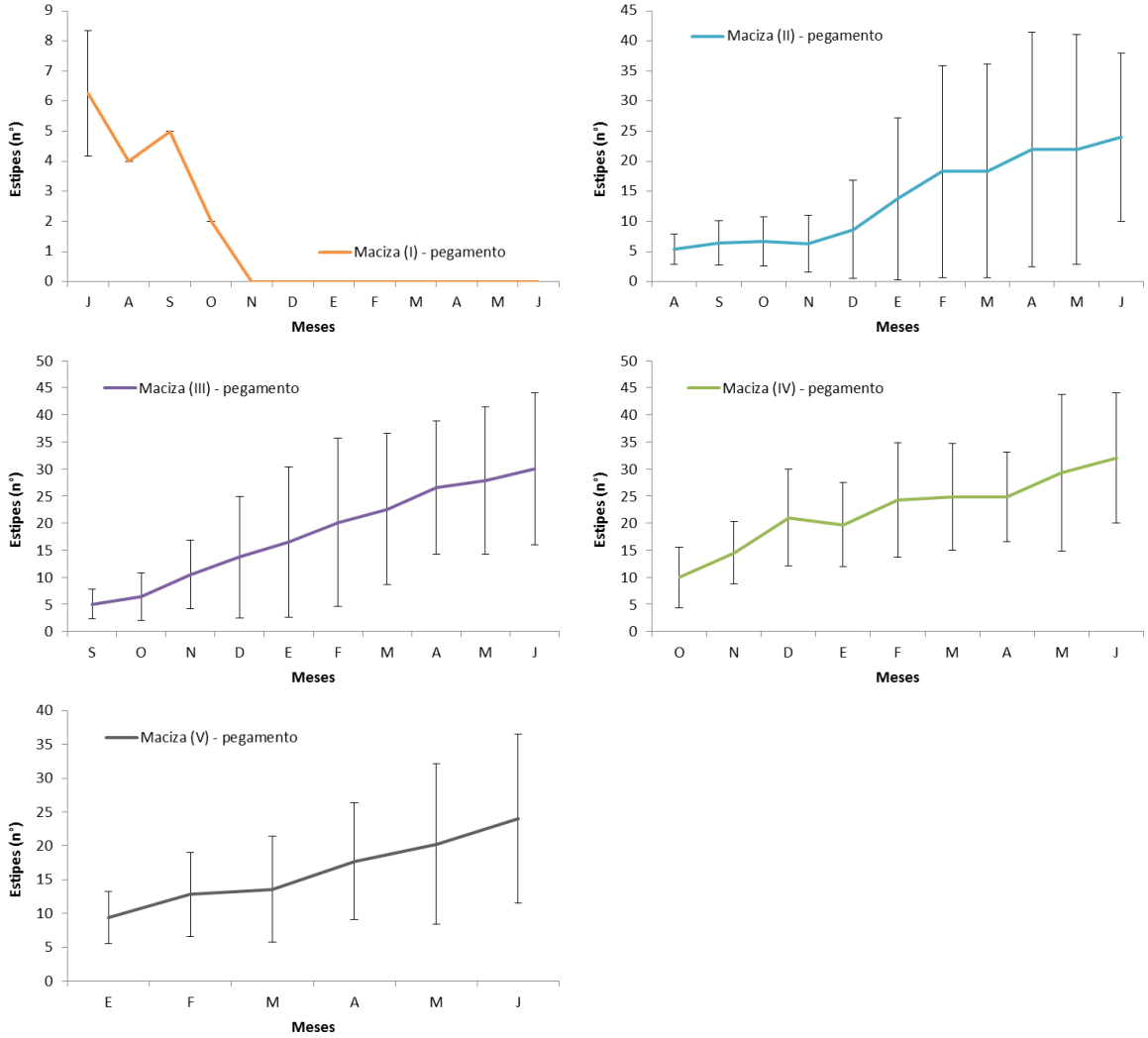


Fig. 46. Incremento de la cantidad de estipes de fragmentos de discos de fijación de *L. nigrescens* sembradas en la localidad de Chañaral norte para repoblamiento (tratamientos con roca maciza).

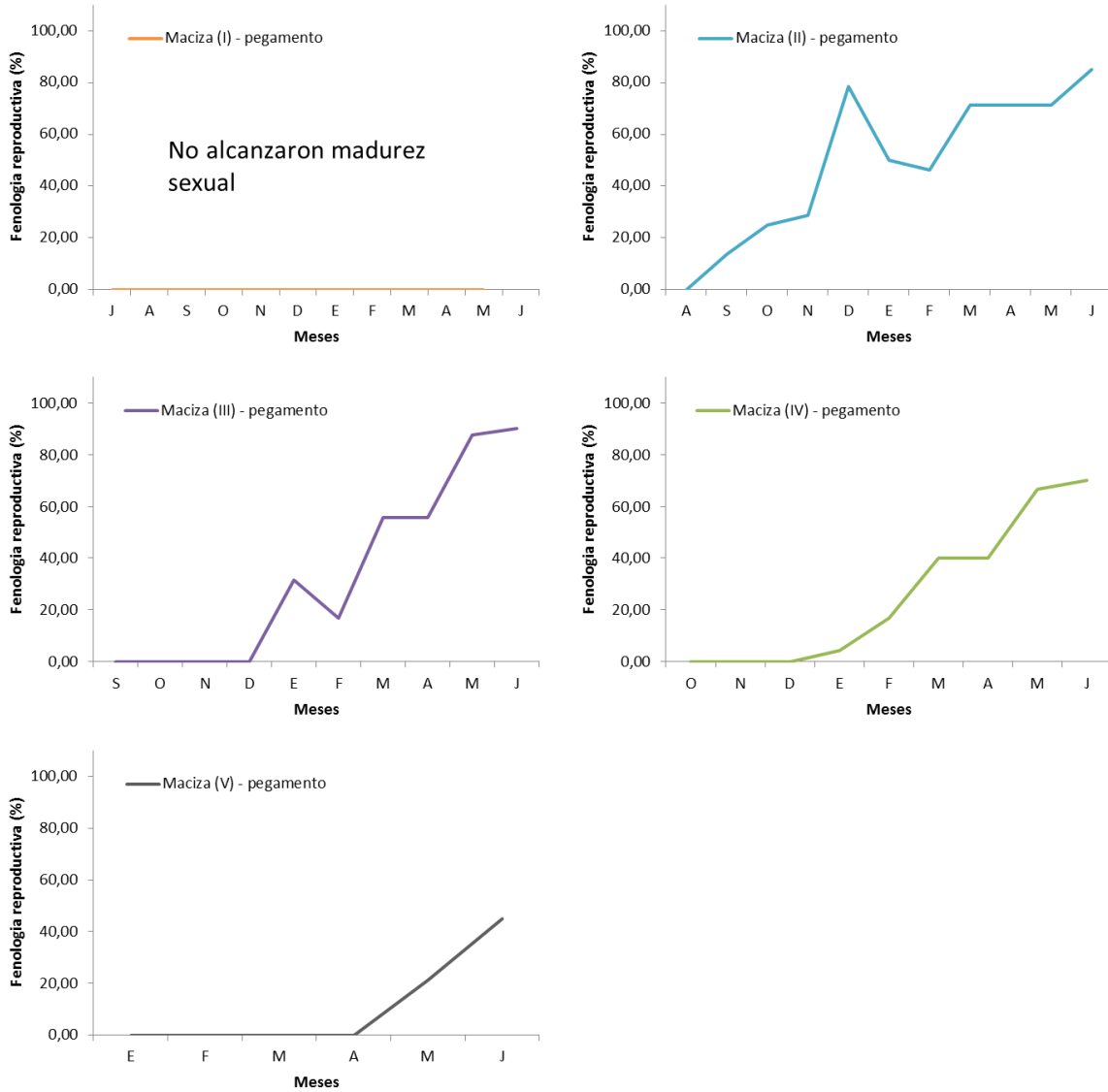


Fig. 47. Fenología reproductiva (% de plantas reproductivas) de tratamientos experimentales de *L. nigrescens* sembrado en la localidad de Chañaral norte (tratamientos con roca maciza).





Foto 42. Vista panorámica área de Chañaral norte sin sembrar



Foto 43. Vista panorámica área de Chañaral norte recién sembrada con *L. nigrescens*



Foto 44. Estado inicial de *L. nigrescens* sembrada sobre bolones roca maciza



Foto 45. Estado avanzado de *L. nigrescens* sembrada sobre roca maciza (zona protegida y sin *Dictyota dichotoma*)



Foto 46. Estado avanzado de *L. nigrescens* sembrada sobre roca maciza (zona semi-protegida y con *Dictyota dichotoma*; siembra Septiembre)



Foto 47. Estado avanzado de *L. nigrescens* sembrada sobre roca maciza (zona expuesta y con *Dictyota dichotoma*; siembra Enero).



Foto. 48 Ejemplar reproductivo de *L. nigrescens* en Chañaral norte



Foto. 49. Área de Chañaral norte repoblada con *L. nigrescens* mes de Junio 2013

### 4.3.3 Repoblamiento en Las Lisas sobre roca maciza

Los resultados de las siembras de fragmentos de disco en la localidad de las Lisas (controles de área sin efecto de relaves mineros) se muestran en las figuras 48 – 51. La primera siembra sobre roca maciza (I) tuvo una mortalidad masiva después de dos meses de ejecución, probablemente por acción de las olas en un área con alta exposición al oleaje y una mala elección del sustrato donde realizar la siembra (fig. 48).

Posteriormente, se buscaron lugares que por una parte estuvieran en un ambiente acorde para la sobrevivencia de *L. nigrescens* (también expuesto), pero que además permitan una protección inicial de los discos de fijación, como pliegues o grietas. De esta experiencia surgió una segunda siembra sobre roca Maciza (II), donde las plantas lograron no solo fijarse al sustrato sino también volverse reproductivas. Actualmente estas plantas alcanzan los 150 cm de longitud (algunas bordean los 2m e longitud), 10 cm de disco de fijación, cerca de 30 estipes (foto 51) y 80% de individuos reproductivos (figs. 48 – 51). Las sobrevivencias han sido de 75%.

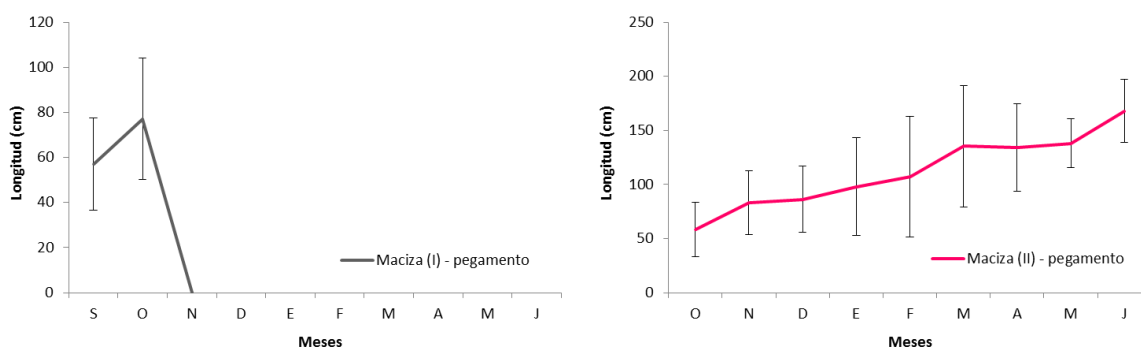


Fig. 48. Crecimiento promedio (en longitud total; cm) de fragmentos de *L. nigrescens* sembrado en la localidad de Las Lisas (localidad control) para repoblamiento (tratamiento con roca maciza).

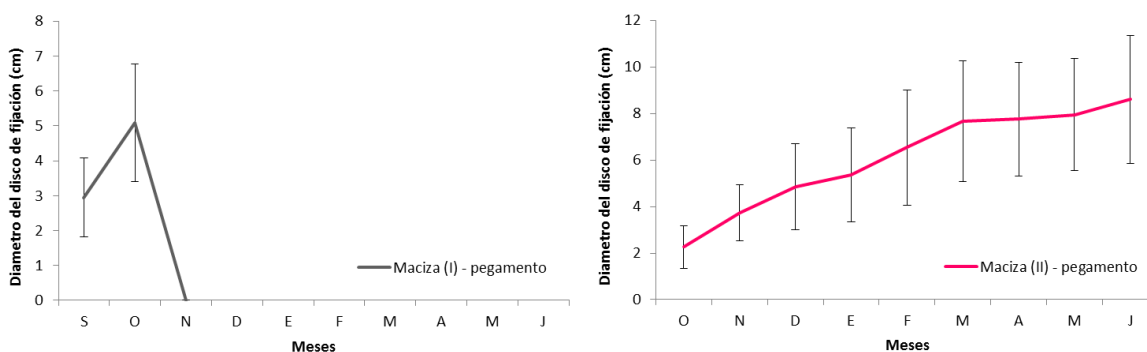


Fig. 49. Crecimiento promedio del grampón (en longitud; cm) de fragmentos de discos de fijación de *L. nigrescens* sembrado en la localidad de Las Lisas para repoblamiento (tratamiento con roca maciza).

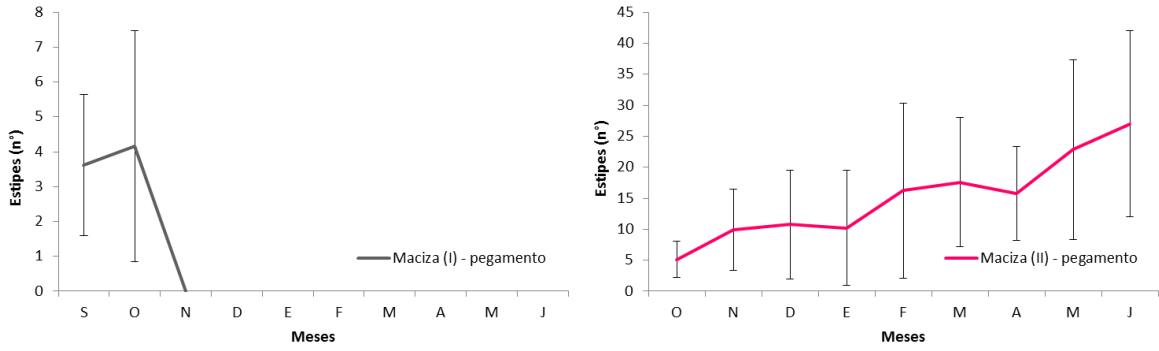


Fig. 50. Incremento de la cantidad de estipes en fragmentos de discos de fijación de *L. nigrescens* sembradas en la localidad de Las Lisas (control) para repoblamiento (tratamiento con roca maciza).

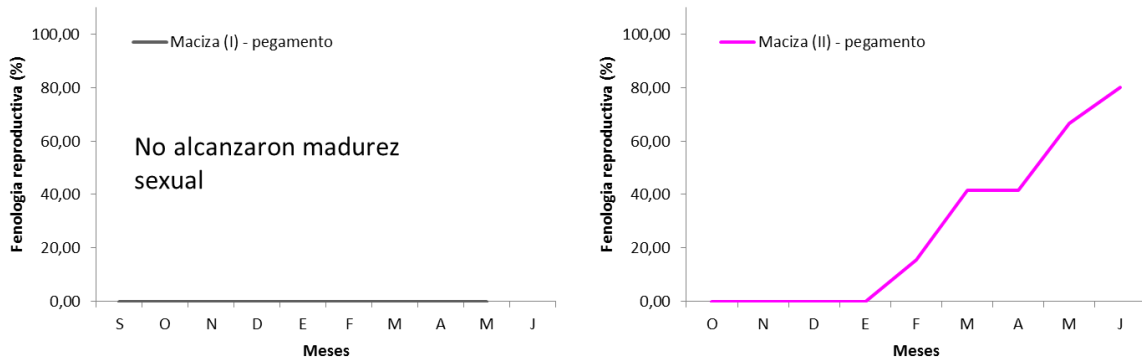


Fig. 51. Fenología reproductiva (% de plantas reproductivas) de tratamientos experimentales de *L. nigrescens* sembrado en la localidad de Las Lisas (tratamiento con roca maciza).



Foto 50. Estado inicial de *L. nigrescens* sembrada sobre roca maciza en Las Lisas

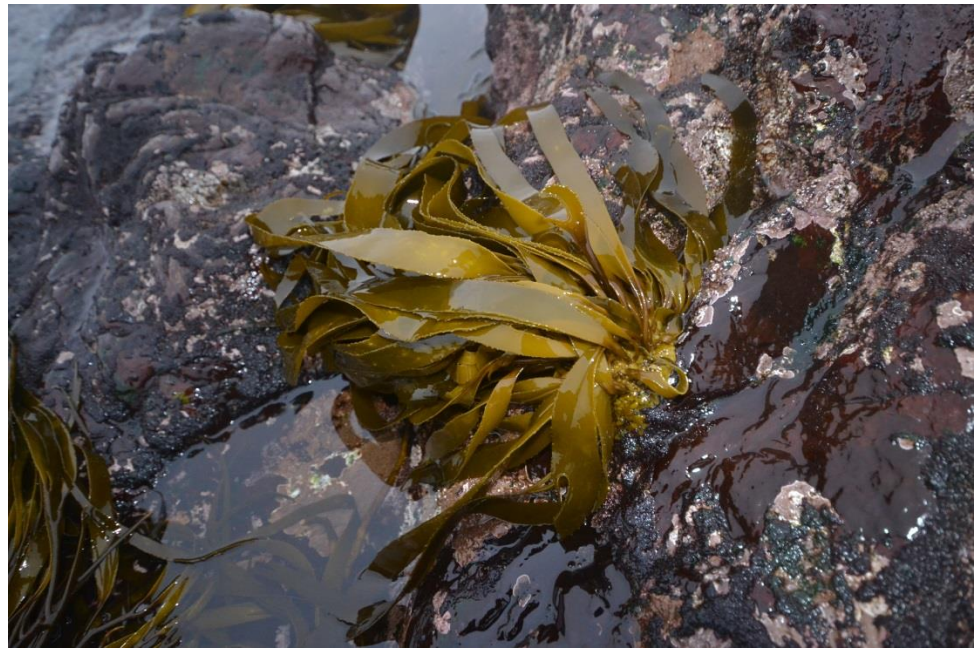


Foto 51. Estado avanzado de *L. nigrescens* sembrada sobre roca maciza

Tabla 69. Supervivencia (número de plantas) de tratamientos experimentales de *L. nigrescens* sembrado en la localidad de Chañaral norte y Las Lisas (control).

Tratamiento de repoblamiento	Localidad	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
<b>Bolón - elástico</b>	Chañaral norte	11	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>Bolón - pegamento</b>	Chañaral norte	6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>Roca (I) - pegamento</b>	Chañaral norte	15	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Roca (II) - pegamento</b>	Chañaral norte		40	29	16	14	14	14	13	7	7	7	5	
<b>Roca (III) - pegamento</b>	Chañaral norte			52	23	20	20	19	18	18	18	16	14	
<b>Roca (IV) - pegamento</b>	Chañaral norte				32	20	18	24	18	15	15	15	14	
<b>Roca (V) - pegamento</b>	Chañaral norte							24	19	19	19	19	18	
<b>Roca (I) - pegamento</b>	Las Lisas			29	6	0	0	0	0	0	0	0	0	
<b>Roca (II) - pegamento</b>	Las Lisas				19	15	13	13	13	12	12	12	11	



#### 4.4 Repoblamiento de *M. integrifolia* en Chañaral norte

La foto 52 muestra la apariencia de *M. integrifolia* en el intermareal de Chañaral norte, después de 2 meses de siembra. A diferencia de la siembra de *L. nigrescens*, las pruebas de repoblamiento utilizando huiro norte mostraron mortalidades de 100%, también debido al efecto de la herbivoría de *Tegula spp.* y *Prisogaster niger* (foto. 52; fig. 52). No fue posible apreciar ningún individuo después de la segunda siembra. Para demostrar el posible efecto de *Tegula*, *Prisogaster* y otros herbívoros sobre las algas de repoblamiento, se determinó la densidad de este y otros herbívoros gastrópodo en el área de estudio (figs. 52-54). En total, fue posible apreciar entre 40 – 140 individuos por cada cuadrante de 0,25m<sup>2</sup>, es decir unos 365 individuos m<sup>-2</sup> en promedio (fig. 52). Quizás, la alta densidad de *Tegula* y *Prisogaster* en Chañaral norte es un factor importante que regula el reclutamiento de algas y con ello mantiene su baja diversidad. Otros herbívoros que fueron detectados fueron el chitón *Enoplochiton* y el caracol *Scurria* en la parte protegida (fig. 52), el panchote *Taliepus dentatus* (el que por sus bajas tallas y densidades sugiere que reclutó sobre los fragmentos de disco traídos desde Pan de Azúcar, Las Lisas y de cultivos en laboratorio) en la parte semi-protegida (fig. 53) y *Calyptraea* y *Fissurella* en la parte expuesta, también en bajas densidades (fig. 54).



Foto 52. Herbivoría de *Tegula spp.* y *Prisogaster niger* sobre remantes de disco de fijación de *Macrocyctis integrifolia* (1 mes desde su siembra)

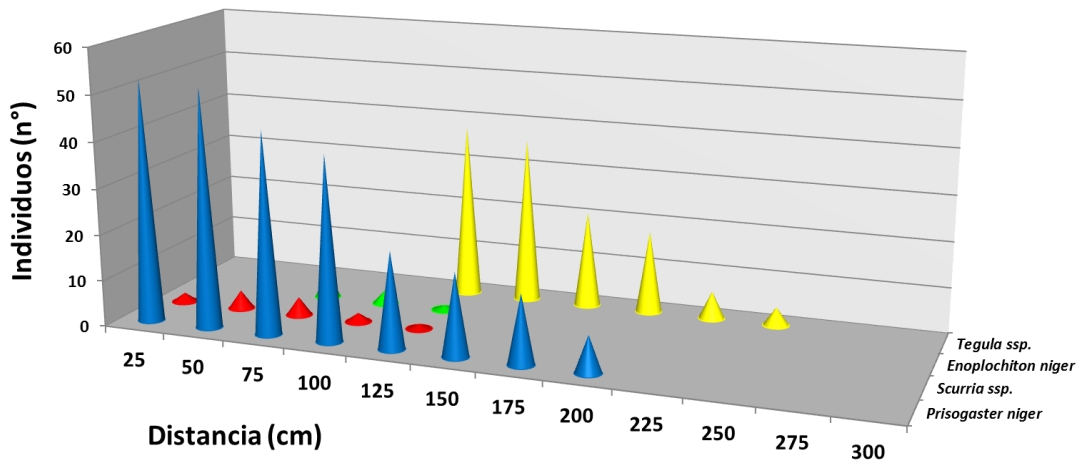


Fig. 52. Densidad promedio de herbívoros (Agosto), en roqueríos protegidos de la localidad de Chañaral norte. La densidad está expresada por cuadrante de 25 x 25 cm. El limite cero en el eje x corresponde a la zona mesomareal inferior.

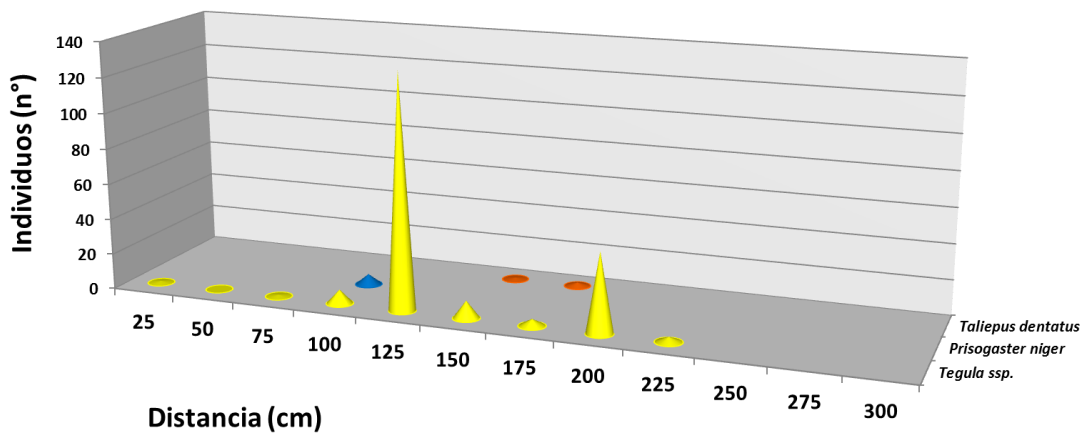


Fig. 53. Densidad promedio de herbívoros (Agosto), en roqueríos semi-protectados de la localidad de Chañaral norte. La densidad está expresada por cuadrante de 25 x 25 cm. El limite cero en el eje x corresponde a la zona mesomareal inferior.

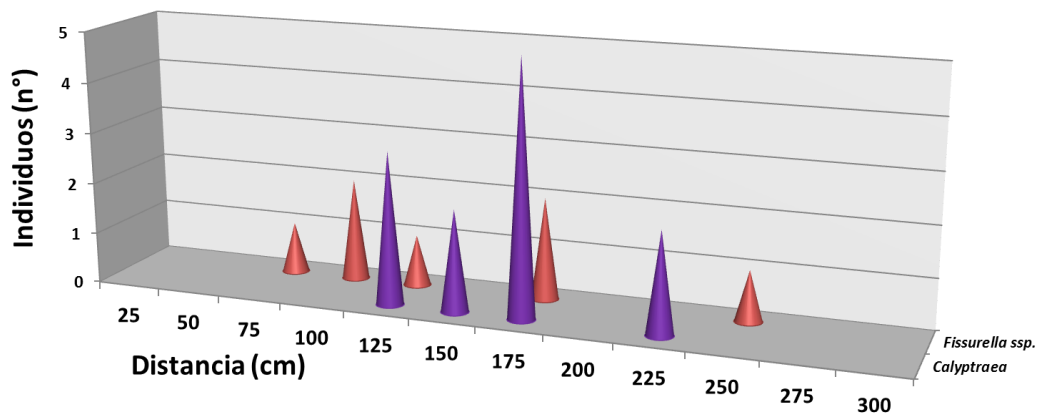


Fig. 54. Densidad promedio de herbívoros (Agosto), en roqueríos expuestos de la localidad de Chañaral norte. La densidad está expresada por cuadrante de 25 x 25 cm. El límite cero en el eje x corresponde a la zona mesomareal inferior.

#### 4.5 Cultivo de *M. integrifolia* en Barquito

Las siembras de *Macrocystis* no superaron los dos meses de sobrevivencia, y los individuos no sobrepasaron los 100 cm hasta decrecer considerablemente (tabla 70; foto 53)). Una excepción fueron las variedades mejoradas de *Macrocystis* producidas en los laboratorios de Puerto Montt, las que lograron durar 3 meses en el mar (tabla 70; fotos 54 y 55)). Todos los individuos experimentaron mortalidades totales después de este periodo de tiempo.

Tabla 70 Productividad de *M. integrifolia* en long-lines sembrados en Barquito

<i>Macrocystis</i> (cm/planta)	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May
Siembra Noviembre	59,6	-	-	-	-	-	-
Siembra Diciembre		116,1	30,1	-	-	-	-
Siembra Enero			80,5	-	-	-	-
Siembra Febrero*				70,5	40	55	-

\*variedad mejorada de *Macrocystis*



Foto 53. Vista de *M. integrifolia* después de 1 mes de cultivo (siembra Noviembre)



Foto 54. Máximas tallas logradas con el cultivo de *Macrocystis* (variedad sur) (siembra Febrero, 2 meses de cultivo)



Foto 55. Vista de plantas sobrevivientes de *M. pyrifera* (siembra febrero)

## 4.6 Cultivo de *Gracilaria chilensis* en Chañaral sur

### 4.6.1 Siembra directa sobre el sustrato arenoso

Esta especie no estaba incluida como parte de los objetivos del proyecto. Sin embargo, se realizaron varias experiencias que se informan en este reporte. Luego de tres meses en Chañaral sur y de un mes en Chañaral norte, los talos tuvieron 100% de mortalidad. Junto con ello, se pudo apreciar una variación considerable de los niveles de arena, la que en Chañaral sur superó 1 metro de altura. Ello sumado a las características de la arena de Chañaral (arena de bajo tamaño de partícula, fácilmente removible por acción de las olas) generaría en los talos sembrados el que no tuvieran un sustrato adecuado para su fijación. Ello nos llevó a realizar distintos experimentos en Barquito junto a la ayuda de pescadores artesanales del sector, sembrando los talos de *Gracilaria* de forma suspendida en la columna de agua. De las siembras realizadas en el sustrato, se observó una decoloración particular que daba cuenta de un daño causado posiblemente por radiación y las características propias de los sedimentos y de la disminución de la acreción y erosión de la playa (foto 56 y 57).

Cada parte del talo con distinta cloración fue separada para análisis químicos en laboratorio (Ver sección: análisis de metales pesados en algas y moluscos)



Foto 56. Apariencia de un manajo sobreviviente de *G. chilensis* en Chañaral sur



Foto 57. Coloración de un manojo de *G. chilensis* después de un mes de cultivo en Chañaral sur. La sección más clara corresponde a la superficie (sobre el nivel de arena), la sección verdosa al límite de la arena, y la sección más oscura a la parte del talo enterrada en la arena.

#### 4.6.2 Siembra en cultivo suspendido

Las productividades de *G. chilensis* creciendo en el Puerto de Barquito (cultivo suspendido) se ilustran en la figura 55. Inicialmente *Gracilaria* había mostrado una excelente aclimatación al ambiente de Barquito, doblando su biomasa de cosecha en 3 meses de cultivo (200 – 250 g planta<sup>-1</sup>), ya que el inoculo sembrado pesaba 100 g (Foto 58). La posible explicación a este resultado sería el efecto de la radiación solar y la composición química del agua y de los sedimentos. Es necesario evaluar otros lugares de esta parte sur de la bahía como también conocer aspectos oceanográficos de este lugar. Luego de 4 meses todas las siembras sin excepción sufrieron una masiva pérdida de biomasa, mostrando en algunos casos una decoloración del tejido (semejante a la siembra sobre el sustrato) y una fuerte presencia de sedimento en el tejido (Foto 59).

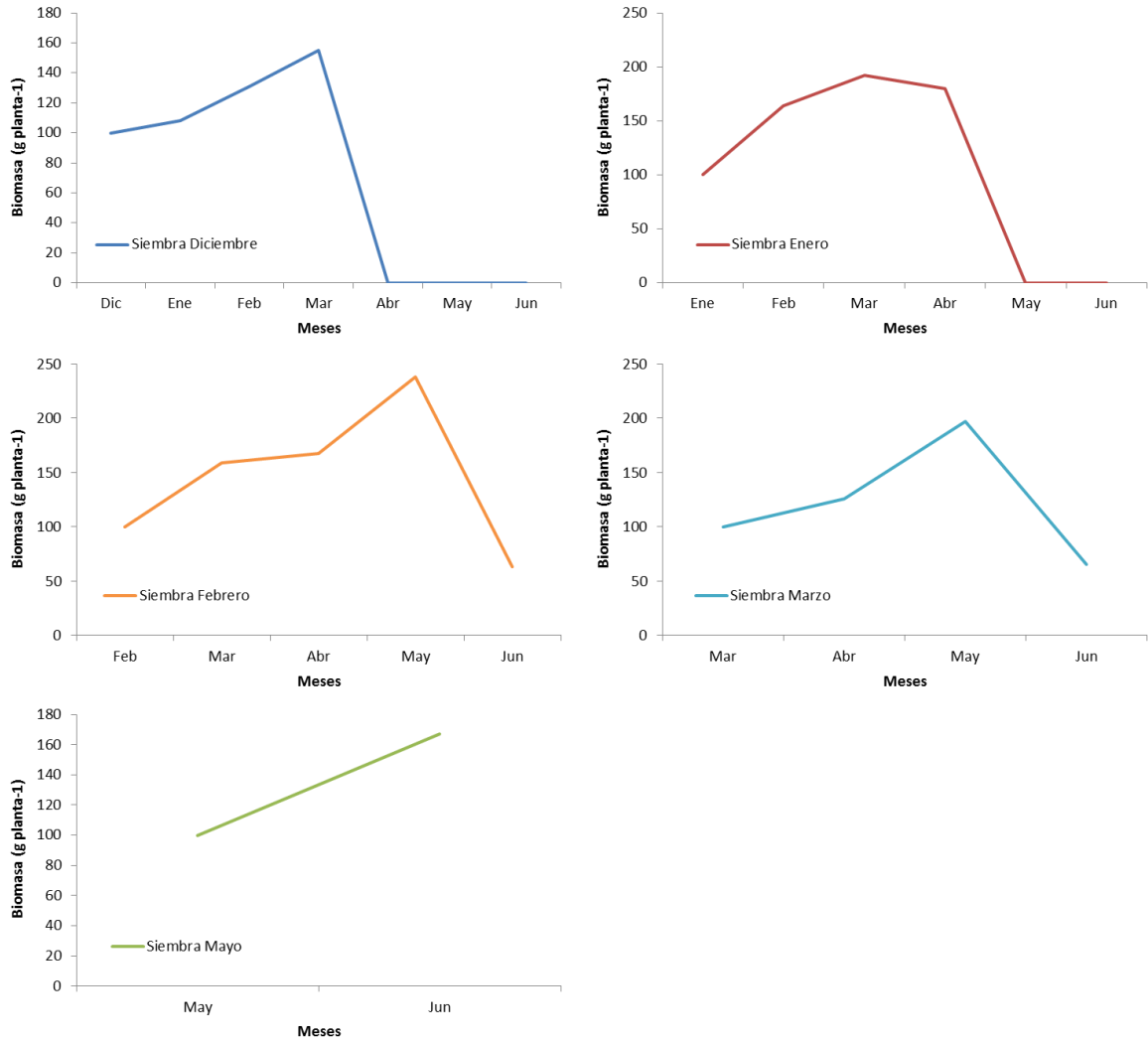


Fig. 55. Productividad de *Gracilaria chilensis* en long-lines, sembrados en Barquito





Foto 58. Apariencia de *G. chilensis* sembrada con sistema de cultivo suspendido en Bahía de Chañaral (Barquito). Manojos izquierdo: siembra Diciembre (3 meses de cultivo al momento de la fotografía); Manojos del medio: siembra Enero (2 meses de cultivo); Manojos derecho: siembra Febrero (1 mes de cultivo).



Foto 59. *G. chilensis* a 4 meses de cultivo (ejemplares sobrevivientes de la siembra enero)

## 4.7 Composición de metales pesados en material biológico

### 4.7.1 *Lessonia nigrescens*

La composición de metales pesados en *Lessonia nigrescens* se muestran en las figuras 56 y 57. La acumulación de metales pesados de Chañaral norte presento una acumulación de 2 – 6 veces más respecto a plantas de praderas naturales provenientes de Pan de Azúcar y Las Lisas (fig. 56). La excepción a la regla fueron el cadmio, cromo, plomo y níquel los que tuvieron una tendencia opuesta, con valores hasta 5 veces mayores que en Chañaral norte.

Otro alcance de estos resultados son las diferencias al interior del talo en la acumulación de metales pesados (fig. 57). El disco de fijación, órgano encargado de mantener estable la planta al sustrato y análogo a una raíz en las plantas terrestres, mostro valores mayores que frondas y estipes. Estas diferencias no son tan marcadas en *L. nigrescens* de praderas naturales como lo es en Chañaral norte, donde la planta estaría usando este órgano ara almacenar metales pesados en exceso. Sin embargo es necesario tener presente que este disco de fijación de *L. nigrescens* en Chañaral norte están en crecimiento, es pequeño en relación con los que se compara. Por lo tanto se necesita discos más viejos de plantas de este sector para obtener resultados que avalen o no las tendencias hasta ahora reportadas.

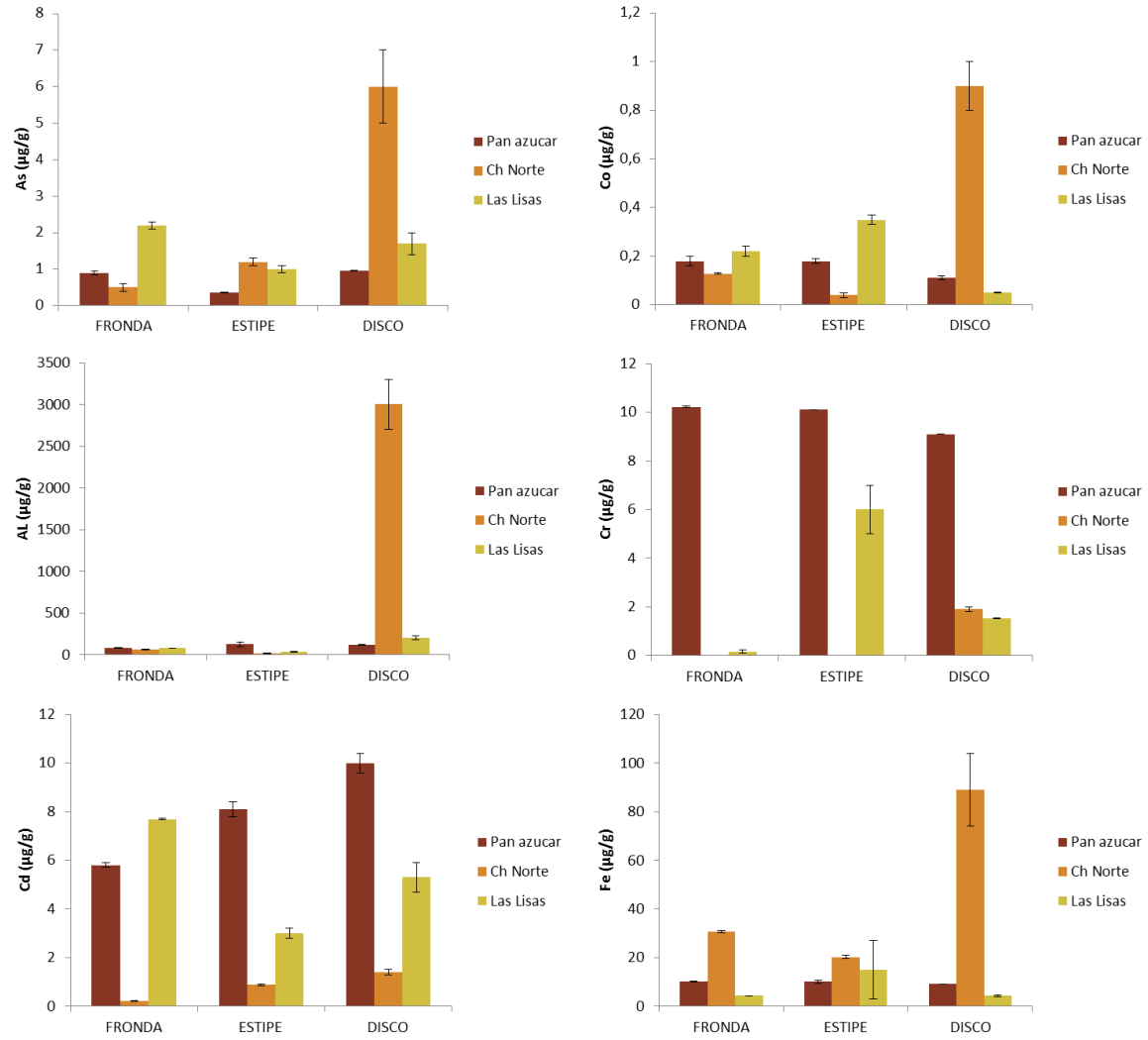


Fig. 56. Variación de los contenidos de arsénico, cobalto, aluminio, cromo, cadmio y hierro en frondas, estipes y discos de fijación de *Lessonia nigrescens* de tres localidades de la región de Atacama.

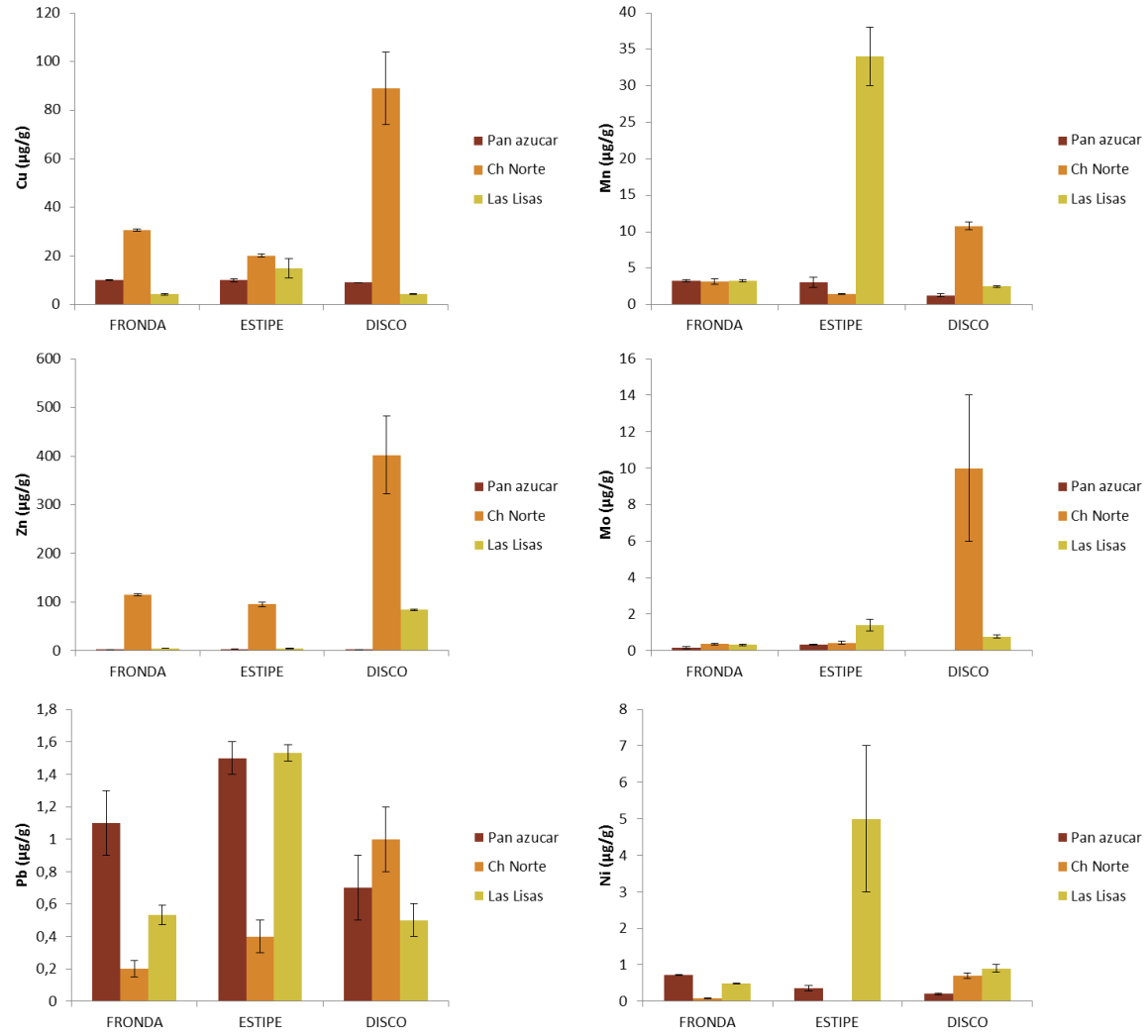


Fig. 57. Variación de los contenidos de cobre, manganeso, cinc, molibdeno, plomo y níquel en frondas, estipes y discos de fijación de *Lessonia nigrescens*, de tres localidades de la región de Atacama.

#### 4.7.2 *Macrocystis integrifolia*

Una tendencia similar se observar en *Macrocystis integrifolia* proveniente del cultivo en Barquito. (fig. 58). Concentraciones altos de aluminio, cromo, arsénico y cobre fueron detectados particularmente en el disco de fijación más que en otras secciones del talo. Los otros metales, en cambio estuvieron en rangos relativamente normales para la especie. También aquí se debe ser cuidadoso con los resultados obtenidos y su interpretación ya que también son plantas juveniles. Además de ello han sufrido un proceso de aclimatación en un ambiente que presenta tanto en la columna de agua y como en los sedimentos concentraciones de metales pesados.

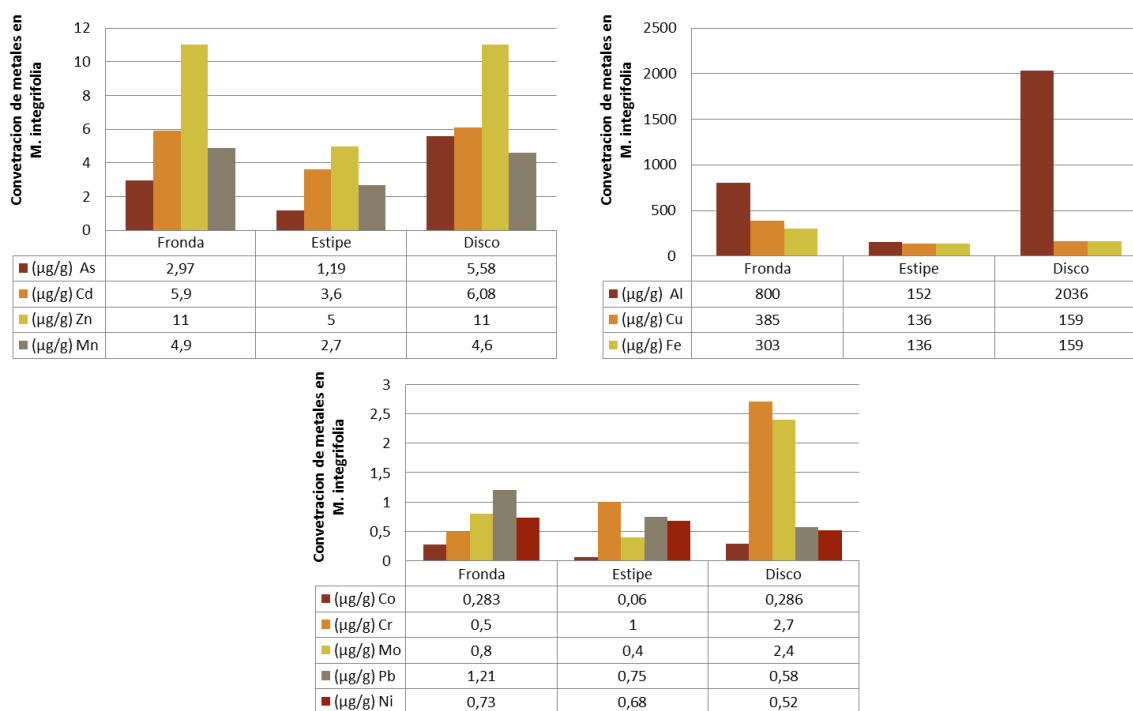


Fig. 58. Variación de los contenidos de metales pesados en frondas, estipes y discos de fijación de *Macrocystis integrifolia*, cultivada de la localidad de Barquito.

### 4.7.3 Gracilaria chilensis

La acumulación de metales pesados en *Gracilaria chilensis* ocurrió de manera similar a *Lessonia nigrescens*. La parte del talo enterrada en el sedimento fue la de mayor acumulación de metales pesados, mientras que la parte superficial presentó menor concentración de ellos (fig. 59).

Al comparar las diferentes concentraciones de metales en las diferentes partes del talo de cultivo con una proveniente de Calderilla (Caldera) es posible observar que el cromo y el aluminio se presentaron en mayores cantidades (fig. 59).

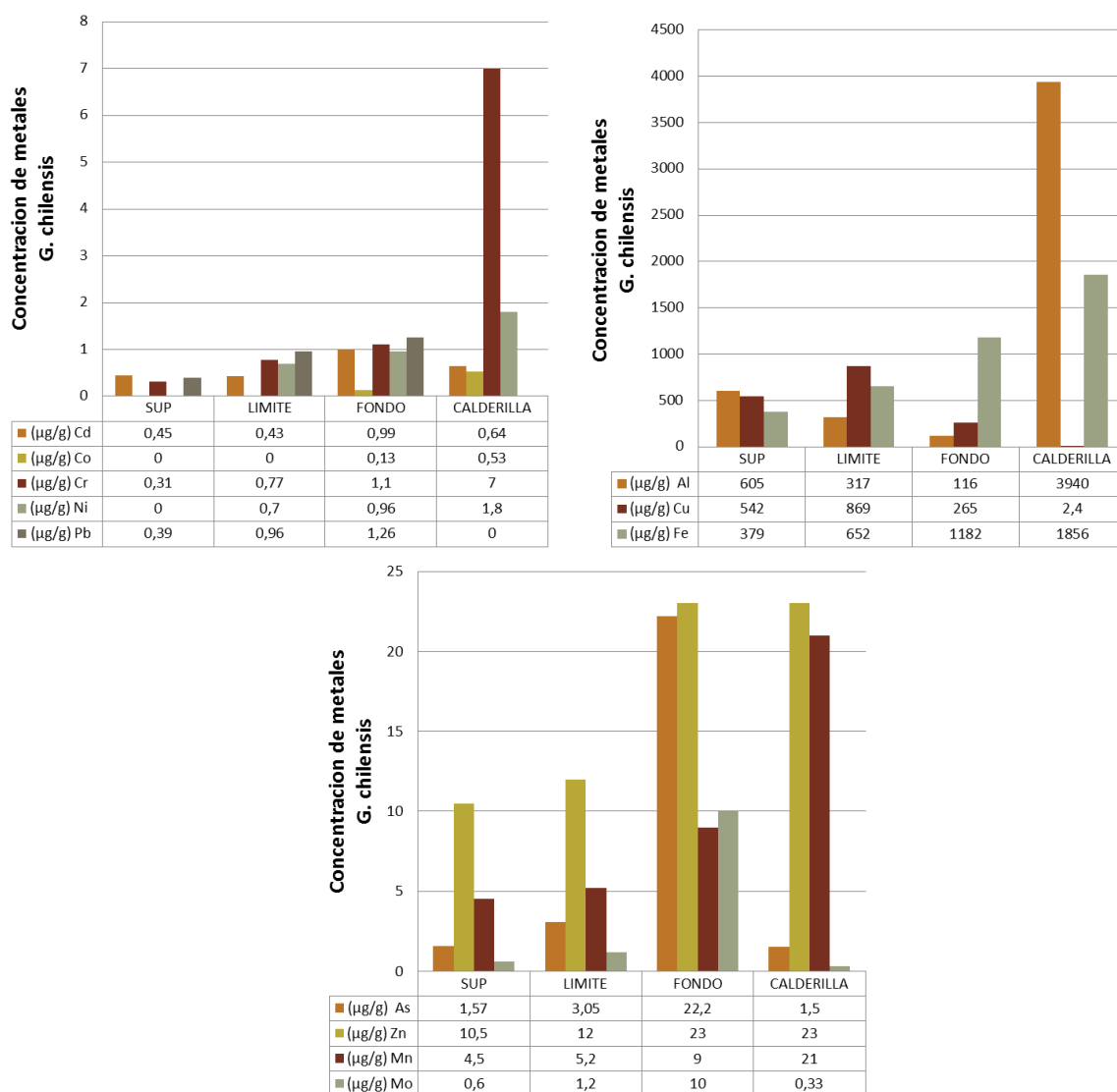


Fig. 59 Concentración de metales pesados en *G. chilensis* cultivada en Chañaral sur en la biomasa superficial, en el límite de la arena y fondo, comparada con biomasa proveniente de Calderilla.

*G. chilensis* cultivada en Barquito mostraron altos niveles en la mayoría de los metales analizados (fig. 60). Los valores más altos fueron registrados en cromo, aluminio, arsénico, cobre, fierro y manganeso. Los valores de metales pesados en algas provenientes de Calderilla casi siempre estuvieron bajo los niveles de las algas cultivadas en Barquito.

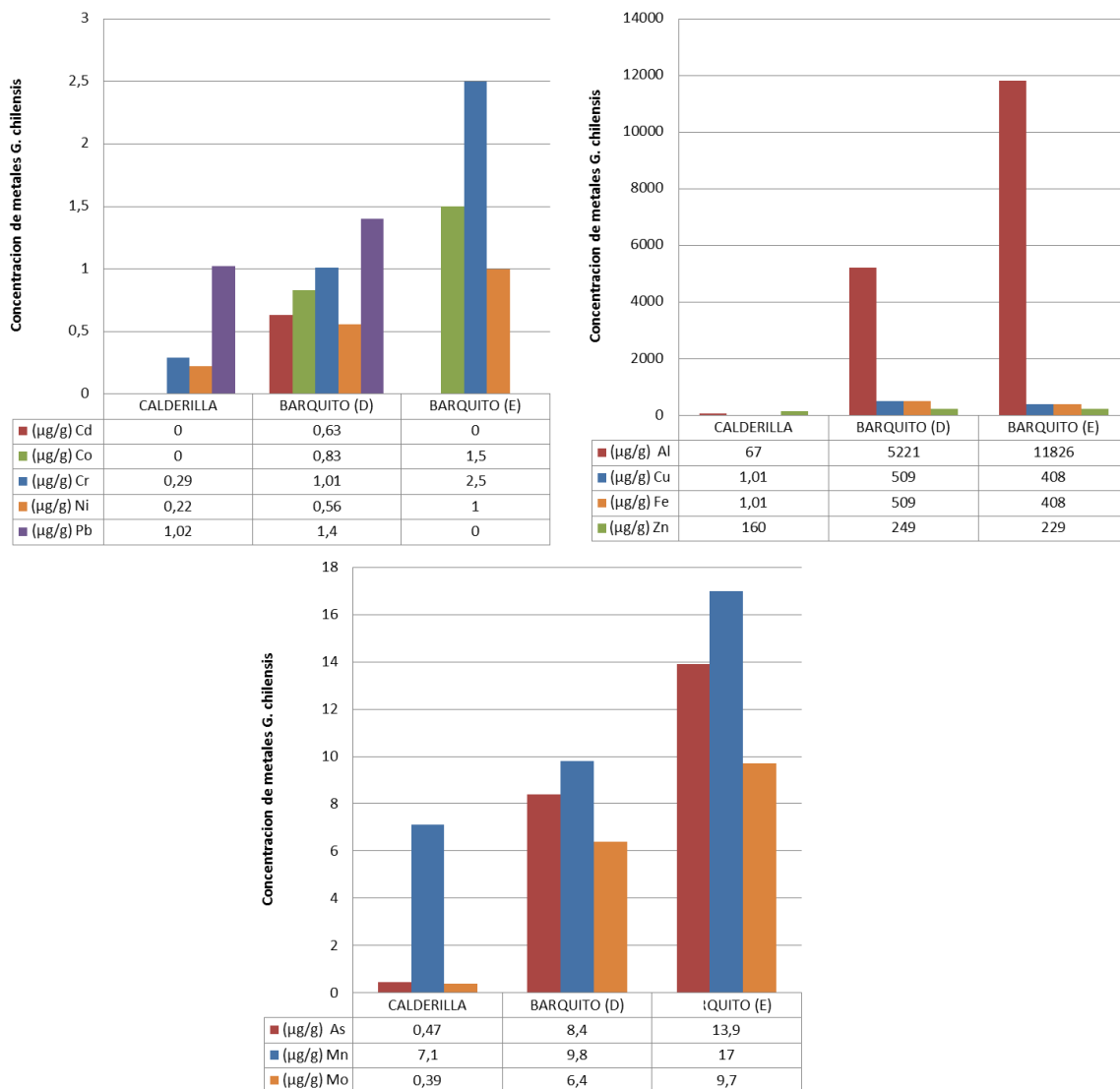


Fig. 60. Concentración de metales pesados en *G. chilensis* cultivada en Barquito de dos siembras (Diciembre y enero), y su comparación con biomasa proveniente de Calderilla (control).

#### 4.7.4 Algas en poblaciones naturales

El género *Ulva*, un alga verde presente en prácticamente toda la región, también tuvo una tendencia considerable de acumular metales pesados. Todos los valores de metales pesados fueron significativamente mayores en Chañaral sur respecto a Las Lisas, en un orden de al menos 800% en algunos casos (fig. 61). Los metales que mayormente fueron acumulados en esta especie arsénico, manganeso, molibdeno, aluminio, hierro, cobalto, cromo y plomo.

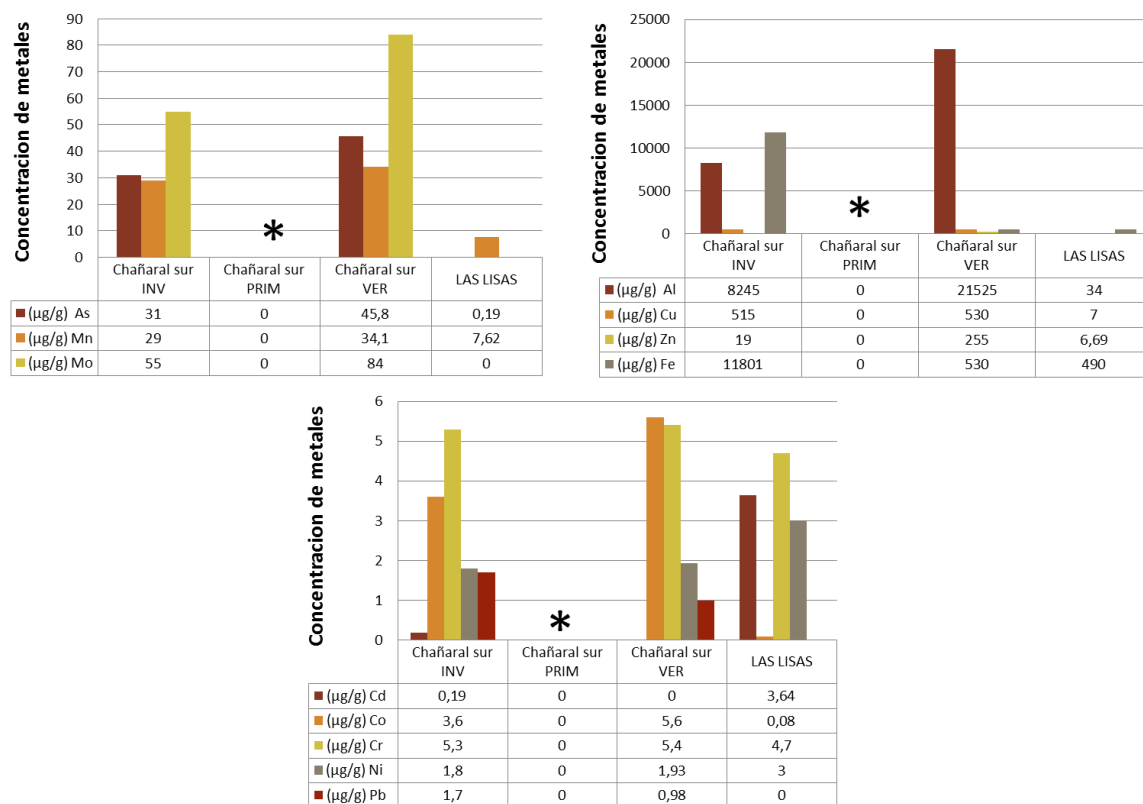


Fig. 61. Concentración de metales pesados en *Ulva spp.* cosechada desde Chañaral sur en tres estaciones del año, y su comparación con *Ulva* cosechada en las Lisas. \*: biomasa insuficiente para cosechar una cantidad adecuada para los análisis.



Las figuras 62 Y 63 muestran la composición química de tres algas presentes en alta abundancia tanto en Chañaral norte como en Las Lisas, y su variación estacional.

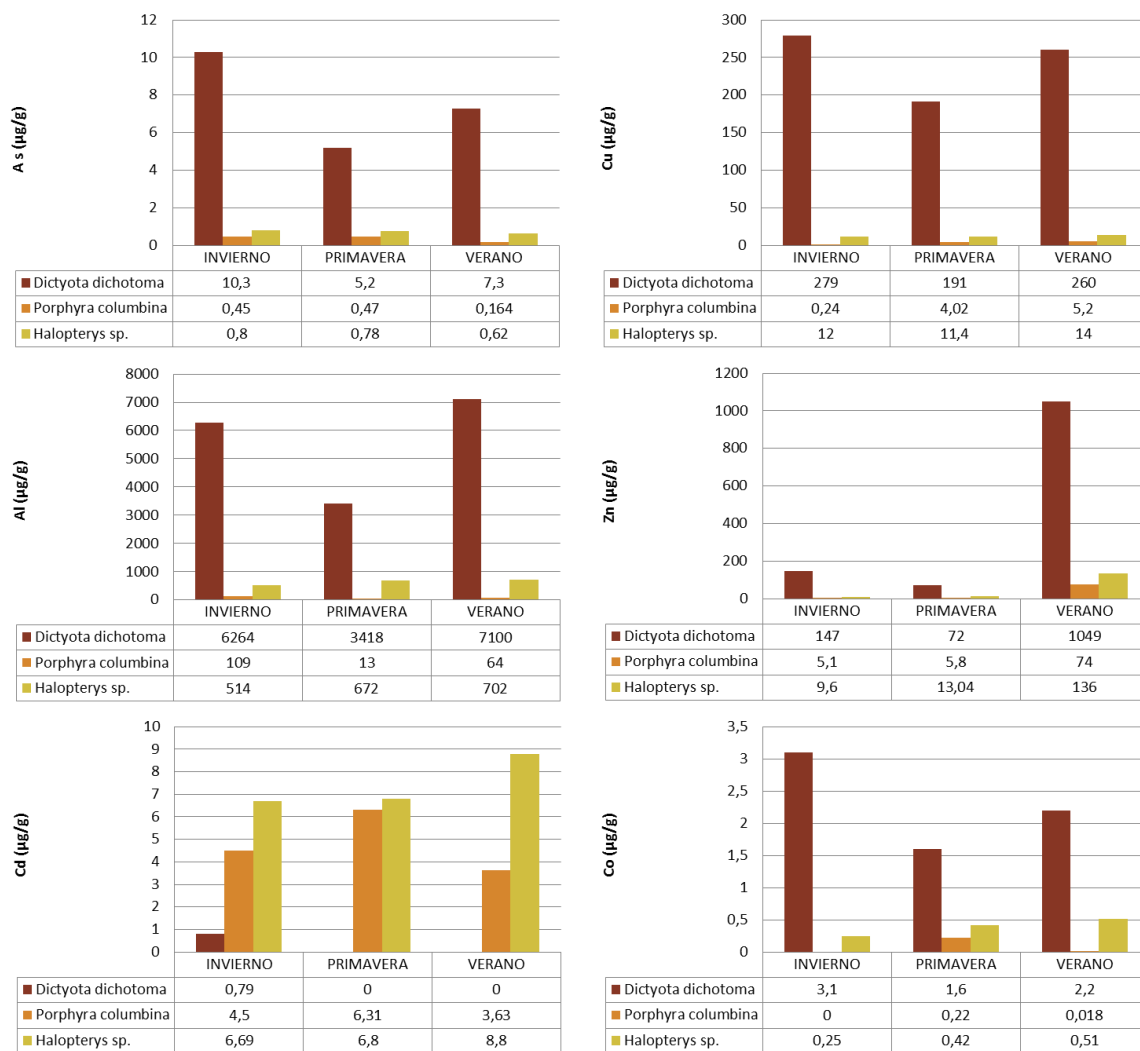


Fig. 62. Concentración de metales pesados (arsénico, cobre, aluminio, cinc, cadmio y cobalto) en *D. dichotoma* cosechada desde Chañaral norte y *P. columbina* y *Halopterys sp.* cosechadas en las Lisas.

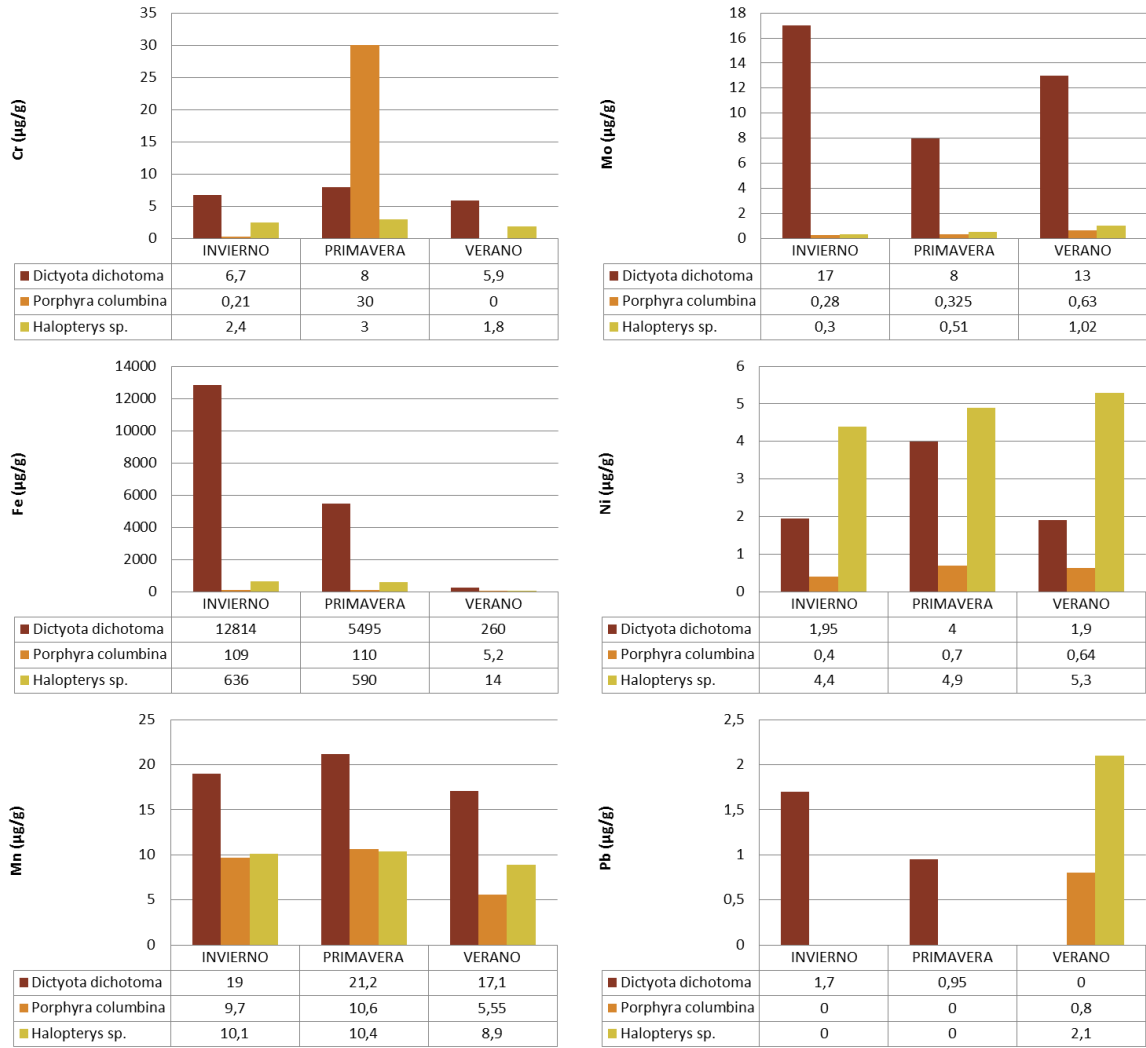


Fig. 63. Concentración de metales pesados (cromo, molibdeno, hierro, níquel, manganeso y plomo) en *D. dichotoma* cosechada desde Chañaral norte y *P. columbina* y *Halopterys sp.* cosechada en las Lisas en primavera.

### 4.7.5 Herbívoros

Los valores de metales pesados se ilustran en la figura 64. Los valores de arsénico, cadmio, cromo, manganeso, cinc, molibdeno, plomo y fierro estuvieron dentro de los rangos que se consideran normales, por lo que no estarían siendo perjudiciales para el desarrollo de estos organismos. Sin embargo, hay que tener en consideración que en casi todos estos metales los niveles estuvieron sobre los controles de la zona norte y sur del país. Un caso interesante de analizar es el de *Prisogaster niger*, un molusco intermareal que estuvo muy por sobre los niveles de los controles, situación que debería ser estudiada ya que esta especie podría servir como especie bio-indicadora de polución.

La única excepción a esta tendencia fue el cobre, el que efectivamente estuvo por sobre los rangos normales en cuatro especies, (*Prisogaster niger*, *Taliepus dentatus*, *Mytilus chilensis* y *Tegula sp.*, lo que podría indicar algún nivel de polución mayor en el área entre Chañaral y Barquito.

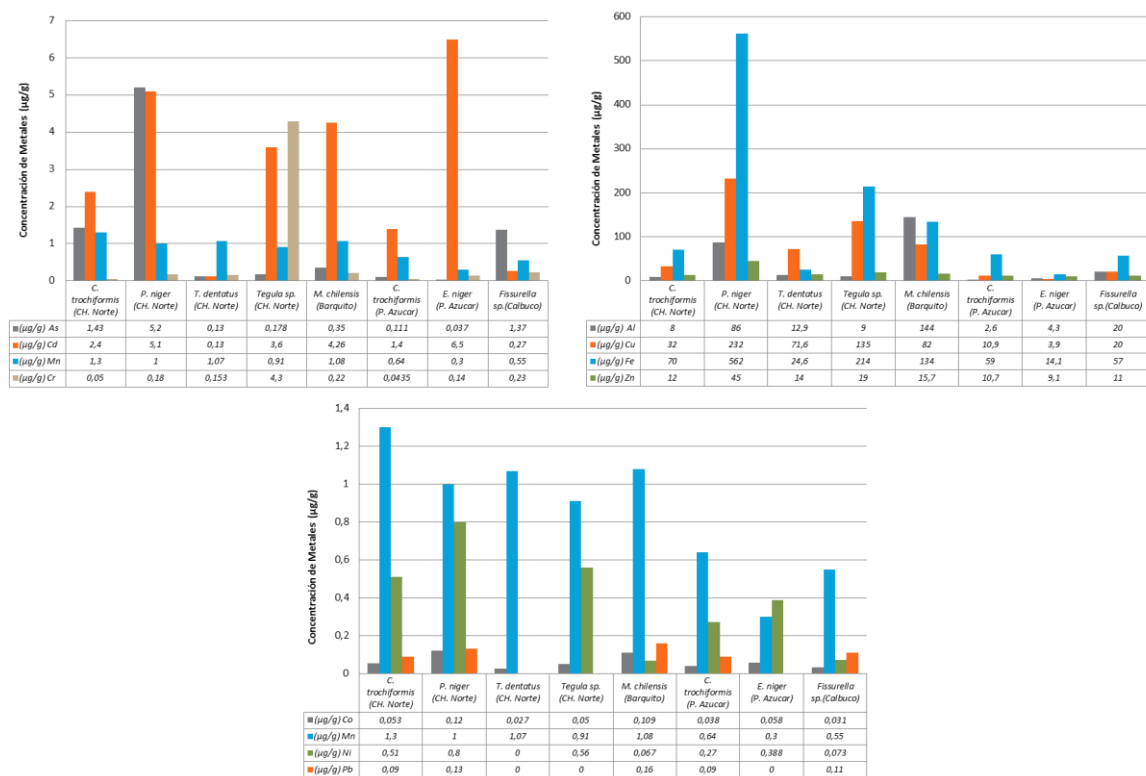


Fig. 64. Concentración de metales pesados de invertebrados herbívoros provenientes de Chañaral y Barquito. Herbívoros provenientes de Pan de Azúcar y Calbuco fueron usados como controles.

## 4.8 Actividades de difusión de resultados

### Abril 2012

Se desarrollaron reuniones de trabajo, que sirvieron para coordinar las actividades y discutir los resultados esperados para cada una de ellas en Copiapó con el Gobierno Regional, donde se realizó la presentación del proyecto a las autoridades.

### Junio 2012

Se organizó el seminario de inauguración del proyecto, el cual se llevó a cabo el día 12 de Junio en la hostería Chañaral, ubicado en la misma ciudad.



Fig. 65 Tarjeta de invitación para Ceremonia de inauguración del proyecto "Uso de Algas pardas de cultivo para la biorremediación del ambiente costero en la Bahía de Chañaral"



Foto 60. Director del proyecto, Dr. Renato Westermeier, introduce a los asistentes al proyecto FIC “Uso de Algas pardas de cultivo para la biorremediación del ambiente costero en la Bahía de Chañaral”



Foto 61. Representantes del Gobierno Regional de la III Región de Atacama



Foto 62. Representantes de la armada, Sernapesca y pesca artesanal de la III Región de Atacama

**Objetivos del Proyecto**

**General:**

Evaluar la factibilidad de recuperación de zonas costeras aledañas a relaves mineros, usando las algas *Lessonia nigrescens* y *Macrocystis integrifolia*.

**Específicos:**

- Evaluación de la presencia de algas y moluscos en ambientes intermareales cercanos a la ciudad de Chañaral.
- Evaluar la factibilidad de repoblamiento de las algas *L. nigrescens* y *M. integrifolia* en la franja costera de Chañaral.
- Evaluar la factibilidad de cultivo de las algas *L. nigrescens* y *M. integrifolia* en la franja costera de Chañaral.
- Evaluar la sucesión de algas e invertebrados de importancia comercial sobre las áreas repobladas de *L. nigrescens* y *M. integrifolia*.
- Evaluar el potencial biorremediador de algas *L. nigrescens* y *M. integrifolia* en localidades costeras con impacto minero.

**Ejecutor**  
Universidad Austral de Chile

**Encargado Proyecto**  
Dr. Renato Westermeier H.

Universidad Austral de Chile  
*Sede Puerto Montt*

**Uso de Algas Pardas de Cultivo para la Biorremediación del Ambiente Costero en la Bahía Chañaral**

Financiado por FNDRC 2011  
GORE Atacama

**Resumen Proyecto**

La localidad costera de Chañaral, en la región de Atacama, ha sido fuertemente perturbada por la adición de metales pesados por varios años en el litoral, producto de la actividad minera del cobre. La presencia de estos residuos mineros ha afectado la calidad del agua y sedimento de las costas de estas localidades, y con ello ha disminuido considerablemente la abundancia y riqueza de especies marinas en el entorno. En el presente proyecto se experimentará con técnicas de repoblamiento de las especies algales *Lessonia nigrescens* y *Macrocystis integrifolia*, así como también cultivo de *M. integrifolia*, en franja de costas desde Barquito hasta Chañaral. Se evaluará el éxito en la colonización de nuevas plantas/reclutas sobre áreas afectadas así como también el crecimiento, sobrevivencia y tolerancia a ambientes con diferentes grados de contaminación por metales pesados. Durante el proyecto, se espera repoblar parte del litoral de Chañaral pero a largo plazo, se pretende que con el repoblamiento y cultivo exitoso de estas especies surjan otras consecuencias positivas, como el aumento en la diversidad de especies algales y de herbívoros y acumulación de metales pesados en las algas como evidencia de biorremediación. Los procedimientos exitosos que sean descubiertos serán traspassados a los pescadores artesanales interesados así como también a toda institución que lo desee practicar.

**Lugar**  
Hostería Chañaral  
Chañaral  
Región de Atacama

**Fecha:** 12 Junio 2012

**Programa**

11:00-11:15	Inscripción
11:15-11:25	Palabras de bienvenida Director del Proyecto Dr. Renato Westermeier H.
11:25-11:45	Palabras Representante Gobierno Regional de Atacama.
11:45-12:30	Proyecto "Uso de Algas Pardas de Cultivo para la biorremediación del ambiente costero en la Bahía de Chañaral" Dr. Renato Westermeier H.
12:30-13:00	Cóctel

Fig. 66. Díptico informativo entregado en la Ceremonia de inauguración del proyecto "Uso de Algas pardas de cultivo para la biorremediación del ambiente costero en la Bahía de Chañaral"

**Abril 2013**

21st International Seaweed Symposium

Los resultados del trabajo realizado en Bahía Chasco con el recurso *Macrocystis integrifolia* fueron presentados en el 21avo Congreso internacional de algas (fig. ) titulado **“Patrones de crecimiento del disco de fijación de macrolgas pardas chilenas después de su fragmentación: una novedosa aproximación para el repoblamiento”** muestra mediante pruebas en terreno la posibilidad empírica de repoblar con *L. nigrescens* y *M. integrifolia* a través de multiplicación vegetativa. La noticia fue publicada en mundo acuícola, aqua-noticias y diarios regionales de la III y X región.





# GROWTH PATTERNS OF CHILEAN KELPS HOLDFAST AFTER FRAGMENTATION: A NOVEL REPOPULATION APPROACH

Winklermar S<sup>1\*</sup>, Muñoz P<sup>2</sup>, Poitão D<sup>3</sup>, Muñoz L<sup>4</sup>, Miller DG<sup>5\*</sup>

<sup>1</sup> Universidad Austral de Chile, Sede Puerto Montt, Instituto de Acuicultura, PO Box 1217, Los Pinos c/o Estación Peñón, Puerto Montt, Chile  
<sup>2</sup> Leibniz Ozeanien, Biologie Fächerfach, D-78457, Konstanz, Germany.  
<sup>3</sup> E-mail: rosmaro@uach.cl

**Introduction:** Chilean kelps *Macrocystis pyrifera* (*Setogrella* morph) and *Laminaria herveyana* (northern species of *L. nigrescens*) are intensely harvested in Añacos, northern Chile, for abalone farms and alginates production [1, 2]. Considering assumptions of kelp vegetation propagation [3] and our own field observations within more than 1 year in Añacos [4], we explored fisherman-friendly restoration techniques for both species, through holdfast fragmentation.



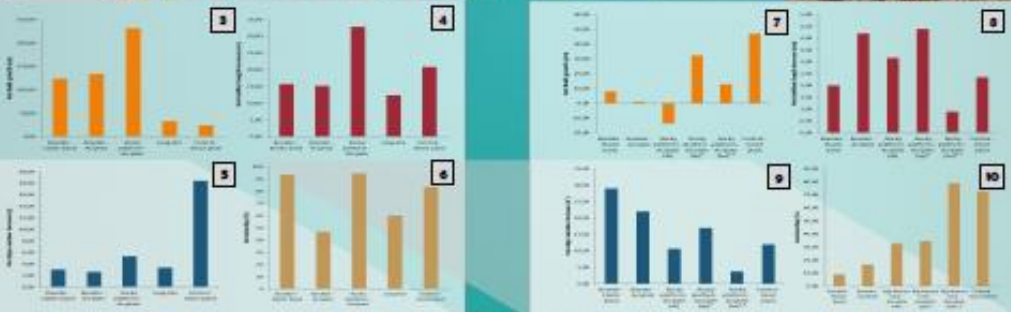
**1**

**Materials and methods**

In parental specimens of i) subtidal *Macrocystis* and ii) intertidal *L. herveyana* we excised sections in their holdfast, originating new individuals (clones). Fragments of both kelps were feasible to seed on boulders (with elastic bands or acrylic glue), long-lines (suspended culture) and rocky platforms. We maintained parental individuals without removing, as controls. Growth (measured as total length, holdfast length and stipes number increase) and mortality were monthly quantified and thallus regeneration was observed. Net growth was estimated with 4 months for *M. pyrifera* and 6 months for *L. herveyana*.



**2**



**Conclusions**

- Similarly as previous restoration experiments in Chile [4,5], artificial clones quickly grew, formed new holdfasts, colonized new substrata and reached sexual maturity, regardless attachment method and species. *M. pyrifera* had net growth of fragments was detected on rocky platforms, for total and holdfast length and stipes number. For *Laminaria herveyana* however, fragments growth was focused on holdfast development and stipes formation.
- Under restoration techniques here described, different patterns of fragments regeneration were observed either. In *M. pyrifera*, holdfast grew in both directions of axes, forming a pair of stipes, followed by longer and thinner development. It seems in natural population this propagation system allowed *Setogrella*-morph generate new individuals (clones) when old holdfast degrades or, on the other hand, forms apical individuals when two different individuals gather.
- In *L. herveyana*, instead, tissue of intact zones in the holdfast (from the meristematic zone under stipes) covered damaged (wound) tissue and took again the holdfast function and growth. Thereby, growth was basically focused on holdfast regeneration and stipes formation, with low thallus growth. Furthermore, a clear pattern of stipes formation was observed, with stipes number increase by broad and stipes bifurcation, followed by a holdfast growth that allows stipes separation.

• Fragments propagation and their re-seeding on damaged areas demonstrated to be an efficient method for kelp restoration. We could generate up to 8 new of *Macrocystis* and up to 14 new clones of *Laminaria*. Therefore, lots of individuals can be restored with a few fisherman effort. Furthermore, parental individuals can regenerate natural sections within 3-6 months after fragment cutting and impact on natural populations is minimized.

**References**

[1] Winklermar S (2017) Acuicultura Marítima de Pesca, Instituto de Acuicultura y Acuicultura, Chile. Available at: <http://www.inia.cl>

[2] Winklermar S, Poitão D, Muñoz P, Muñoz L, Ruiz A, Miller DG (2016) Evaluation of algal composition and energy for abalone farming in Chile. *Journal of Applied Phycology* 32: 101-110.

[3] Poitão D (2012) The growth and death of the *Macrocystis pyrifera* (*Setogrella*, Laminariales), *Phycologia* 51: 161-165.

[4] Winklermar S, Muñoz P, Poitão D, Muñoz L, Ruiz A, Miller DG (2015) Assessment of holdfast fragments for restoration propagation of *Macrocystis pyrifera* (Setogrella) in Chile. *Journal of Applied Phycology* 31: 101-110.

[5] Winklermar S, Poitão D, Muñoz P, Muñoz L, Ruiz A, Miller DG (2015) Impact of fragmentation of *Macrocystis pyrifera* on the regrowth of biomass. *Journal of Applied Phycology* 31: 101-110.

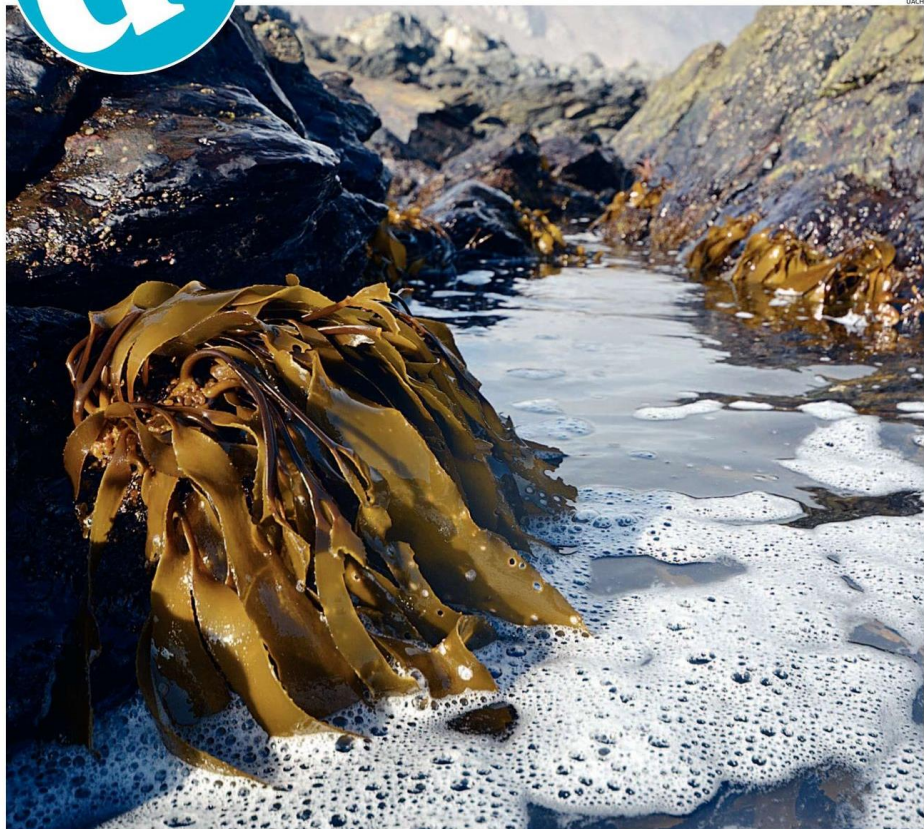
Publicación en el diario regional de Atacama.

[www.diarioatacama.cl](http://www.diarioatacama.cl)

**d** N° 85 de Junio de 2013

**BLUR EN CHILE**  
*La banda que se reunió en 2009 ahora le canta al desamor.* Pág. 7

**TENDENCIAS**  
*Ocho siglos de arte en alta resolución y que se pueden explotar en la web.* Pág. 6



## Investigación de algas de Atacama fue expuesta en **Indonesia**

*La Universidad Austral de Chile expuso dos proyectos ejecutados en la costa de Chañaral, en la que se demostró el repoblamiento del huiro.* Págs. 4 y 5

 **TIMOTHY TAFFE**  
*El presidente de la Apeco adelantó lo que serán sus principales tareas.* Pág. 3

**LITERATURA**  
*Patricio Jara habla de su libro "Geología de un planeta desierto".* Pág. 8



EL HUIRO NEGRO HA LOGRADO UN REPOBLAMIENTO EN LA BAHÍA DE CHAÑARAL.

## Investigación de algas en Atacama fue expuesta en **Indonesia**

**La Universidad Austral de Chile expuso iniciativas chilenas financiadas por fondos FIC Atacama, que vinculan la investigación de la agronomía marina, la ecología y el repoblamiento de algas en sinergia con algueros de la región.**

RAWH  
reportajes@diarioatacama.cl

El investigador del Instituto de Acuicultura y vicerrector de la Universidad Austral de Chile Sede Puerto Montt doctor Renato Westermeyer participó en abril pasado en el "21st International Seaweed Symposium" (Simposio Internacional de Algas - ISS) que se desarrolló en la ciudad de Bali, Indonesia. En este contexto, el investigador presentó en dos ponencias los resultados de tres proyectos de investigación sobre ecología y repoblamiento de las macroalgas pardas huiro norte (*Macrocystis integrifolia*) y huiro negro (*Lessonia nigrescens*) en la Región de Atacama. El primer trabajo, titulado "Patrones de crecimiento del disco de fijación de macroalgas pardas chilenas después de su fragmentación: una novedosa aproximación para el repoblamiento" muestra mediante pruebas en terreno la posibilidad empírica de repoblar a través de multiplicación vegetativa las especies de

algas antes nombradas, discutiendo las implicancias ecológicas de estos métodos. El segundo trabajo, llamado "Pesquería de *Macrocystis* en Atacama: efecto de la cosecha sobre su dinámica poblacional",

compara la biología poblacional de esta especie en Bahía Chasco, Atacama, de zonas sin intervención y zonas cosechadas completamente en distintas épocas del año, cuantificando la capacidad de recuperación de esta pra-

dera natural.

"La información que aquí se presentó, es el resultado de más de dos años de investigación en el repoblamiento de algas pardas. Corresponde a un esfuerzo enorme de nuestro grupo de in-



ALGUNOS DE LOS PRODUCTOS EN BASE A ALGAS PRESENTADOS EN INDONESIA.



LOS PESCADORES DE BAHÍA CHASCO A DIARIO LABORAN Y CENTRAN SU ACTIVIDAD EN LA EXTRACCIÓN DE ALGAS.

## Alzas en precios de los terrenos

● En diciembre de 2011 el equipo de investigación del Laboratorio de Algas de la Universidad Austral de Chile Sede Puerto Montt comenzó a ejecutar dos proyectos en la Región de Atacama. La primera iniciativa se llama "Uso de algas pardas para la biorremediación del ambiente costero en la bahía de Chañaral". El encargado del proyecto, el doctor Renato Westermier, explicó aquella vez que "la localidad de Chañaral ha sido fuertemente perturbada por el relave de cobre en el pasado, producto de la actividad minera. Esto ha disminuido la presencia de especies marinas en el sector. Por lo anterior, en este proyecto se experimentará con técnicas de repoblamiento de las especies algales *Lessonia nigrecens* y *Macrocystis integrifolia*, así como también con el cultivo *M. integrifolia*". El proyecto espera repoblar un área sur y otra norte del litoral de Chañaral. A largo plazo se podrían manifestar consecuencias positivas de este trabajo, como aumento de la diversidad de especies algales y de herbívoros y al mismo tiempo se evaluará la presencia de metales pesados en el sustrato y columna de agua. Esto se correlacionará con los valores de acumulación que alcanzan las macroalgas que se utilizaron en esta experiencia de repoblamiento y cultivo. El otro proyecto que fue aprobado por el concurso del Fondo de Innovación para la Competitividad, fue "Repoblamiento de *Macrocystis integrifolia* en la Región de Atacama", el cual comenzó su segunda etapa el año 2012. Sobre esta iniciativa, el doctor Westermier recaló que "en estos meses de trabajo hemos avanzado considerablemente en conocer las bases científicas-tecnológicas para el repoblamiento y manejo en la pradera de Bahía Chasco. Hemos establecido métodos de repoblamiento altamente efectivos". Es así como la meta principal de la segunda parte del proyecto es escalar a nivel masivo en los dos mejores sistemas de repoblamiento desarrollados en la convocatoria anterior. Adicionalmente se intentará desarrollar un programa de manejo para *Macrocystis integrifolia* en la localidad de Bahía Chasco, utilizando la frecuencia óptima de cosecha para cada estación del año a través de un sistema de rotación de áreas parceladas. Todo lo anterior se traducirá en una mejora para las prácticas actuales empleadas por pescadores artesanales de la zona.

investigación, algueros de las localidades de Bahía Chasco y Chañaral y por supuesto del gobierno regional de Atacama, los que a través de fondos FIC confiaron en estas iniciativas y en su potencial en el mediano plazo", señaló el investigador.

"Creemos que los descubrimientos aquí realizados son una potente herramienta para los al-

gueros, instituciones públicas y privadas y por supuesto para la academia, los que sin duda lo utilizarán en el marco de pesquería y ecología de algas marinas", agregó Westermier.

### SIMPÓSIO INTERNACIONAL

Este evento, que se realiza cada tres años, está enfocado a personas y organizaciones invo-

2

Fueron los proyectos que en 2011 comenzó a ejecutar el Laboratorio de Algas de la UACH, ambos en la Bahía de Chañaral.

350

Fueron los trabajos expuestos en Indonesia durante el desarrollo del Simposio Internacional de Algas.



EL LLAMADO "HUIRO PATO" TAMBIÉN SE HA VISTO REAPARECER EN LA COSTA.

lucradas con la utilización e investigación de algas, proporcionando un foro para los científicos, tecnólogos, administradores de recursos y representantes de empresas para presentar sus últimos resultados en investigación, intercambiar ideas y desarrollar sinergias. La pasada convocatoria realizada en la ciudad indonesia reunió a más de 350 trabajos y 400 asistentes de todo el globo, contando con más de 45 instituciones patrocinantes.

### EN LA U.AUSTRAL

Un Congreso de esta naturaleza fue organizado en el año 1995 en Valdivia por el Dr. Renato Westermier H. en ese entonces director y académico del Instituto de Botánica de la UACH en Isla Teja, Valdivia. El "15th Congreso internacional de algas", es considerado uno de los mejores eventos desarrollado en algas en Chile hasta ese momento. Participó también en su realización el

"Creemos que los descubrimientos aquí realizados son una potente herramienta para los algueros"

**Renato Westermier**  
Vicerector de la Universidad Austral de Chile sede Puerto Montt

académico de la Universidad Católica de Chile y Premio Nacional de Ciencias 2012, Dr. Bernabé Santelices.

### DESDE 2010 INVESTIGANDO

El equipo de investigación en algas liderado por Westermier desde 2010 que está ejecutando una serie de investigaciones en la costa atacameña.

Aquel proyecto inicial tuvo como finalidad desarrollar una

metodología para repoblar áreas que han sido y estaban siendo fuertemente sobreexplotadas en esta zona, donde, según destacó el Dr. Westermier "es conocido que el estado actual de estas poblaciones es de colapso por el fuerte impacto que se ejerce en la extracción de este recurso, que se usa como alimento de abalones y para la industria química de los alginatos.

La *Macrocystis integrifolia*, llamado comúnmente "huiro norte" o "huiro pato" crece desde el intermareal hasta los 30 metros de profundidad y se distribuye en ambos hemisferios. Los estudios realizados hasta la fecha con esta especie indican que es necesario tomar medidas urgentes ante la frágil situación de estas praderas marinas en el norte de Chile, ya que su disponibilidad para el consumo de abalón y de la industria química ha decaído dramáticamente.

**Julio 2013**



Fig. 67. Tarjeta de invitación para Ceremonia de finalización del proyecto “Uso de Algas pardas de cultivo para la biorremediación del ambiente costero en la Bahía de Chañaral”

## Actividad en desarrollo: diseño de una página web

En estos momentos está en diseño una página web para difundir de forma masiva, y a través de internet, los resultados obtenidos en este proyecto a las diferentes instituciones o personas naturales. La página web servirá como un foco de encuentro entre el laboratorio y los actores de la industria de las algas que funcionara para asesorar de forma directa a la comunidad así como actualizar de las actividades en la región.



### UCh Sede Puerto Montt Cultivará Algas para Proyecto de Biocombustibles

El Laboratorio de Algas de la Universidad Austral de Chile Sede Puerto Montt, dirigido por el vicerrector de esta institución académica, el doctor Renato Westemeier, será el encargado de un cultivo de algas que serán utilizadas para el proyecto de biocombustibles que está desarrollando la empresa Bal Chile. Lo anterior gracias a la firma de un convenio en que la universidad pasa a ser el ejecutor del cultivo de *Macrocystis pyrifera*, más conocido como "huiro", en las 7,5 hectáreas pertenecientes a la empresa en el sector Metrencué, de la comuna de Calbuco.

Los profesionales de la UACH realizarán cuatro siembras de una hectárea cada una, cultivándose 45 mil plantas por hectárea durante el segundo semestre de este año y enero de 2012. Lo que se pretende con estas variedades mejoradas es obtener 40 toneladas secas por hectárea al año.

[ver más...](#)



**Actividad en desarrollo: diseño de un manual de repoblamiento a través de fragmentos de disco.**

En estos momentos está en edición un Manual de repoblamiento de las especies *Macrocystis integrifolia* y *Lessonia nigrescens*, basado en los resultados de este proyecto y del proyecto FIC Atacama “*Uso de algas de cultivo para la biorremediación de la Bahía de Chañaral*”. En este manual se resumen las principales consideración para una siembra exitosa y sostenible de estas algas pardas utilizando fragmentos originados del disco de fijación, en conjunto con una serie de resultados que respaldan estas consideraciones. Este segundo manual está destinado a pescadores artesanales, organizaciones públicas y privadas, mundo científico y académico y personas naturales que estén interesados en el repoblamiento de algas, otorgando herramientas y conocimiento de una tecnología de repoblamiento de bajo costo y fácil implementación.



## 5. Conclusiones

---

Conociendo la dinámica de las variables ambientales de la bahía de Chañaral y de sus alrededores, y comparándolas con zonas controles de la misma región de Atacama, se puede indicar que la composición de metales pesados disueltos en la columna de agua alcanza concentraciones que no serían dañinas para la biota. Además, se detectó una concentración optima de elementos químicos “tampones” (como el calcio y el magnesio), los que estarían atenuando el efecto toxico de los metales presentes.

La excepción dentro de este trabajo fueron los muestreos en Rio Salado, las que tanto en su composición de nutrientes como de metales pesados estuvieron sobre los rangos “normales”. Aparentemente, el origen de esta anomalía podrían ser actividades minera y agrícola. El impacto de esta sobredosis de elementos químicos podría ser perjudicial para los organismos en contacto con este ecosistema, por ejemplo Caleta Palito y Chañaral en su sector norte.

En el caso del sedimento de Chañaral sur, la situación fue algo distinto. Valores altos de arsénico, cobre y litio fueron detectados en este estudio, los que aparentemente no son de origen natural y provendrían de fuentes cercanas, depositándose en el fondo. Estas altas dosis podrían estar afectando la biota de ese lugar. Prueba de ello podría ser la baja diversidad de algas e invertebrados de Chañaral sur y las bajas tallas que estos ejemplares alcanzan.

La composición granulométrica de este sedimento también es un factor importante que afecta a esta localidad. El tamaño de partícula es inferior a la de una playa normal (lo que prueba que efectivamente es producto de relaves mineros) lo que produce que la arena se desplace rápidamente a través del agua o aire (una vez seca), a través de procesos de erosión y acreción.

La cobertura y distribución de algas y herbívoros en las áreas de estudio fue consecuente con lo esperado. Chañaral norte y sur fueron las localidades con menor diversidad de especies, de bajo tamaño. Las especies dominantes en estos ambientes fueron de formas crustosas o



microscópicas, las que aparentemente y según este proyecto habrían logrado mecanismos para tolerar y acumular metales pesados (por ejemplo los géneros *Ulva* y *Dictyota*). Sería interesante, en una investigación futura, evaluar el potencial bioindicador de estas algas frente a ambientes contaminados por metales pesados.

Alejándose del área de Chañaral la diversidad de especies aumentó, y con ello *Lessonia nigrescens*. En este sentido, y considerando la desaparición del cinturón de esta alga en el área de Chañaral, el repoblamiento de esta especie es todo un desafío en este ambiente, con impactos a nivel social y probablemente económico.

El repoblamiento de *Lessonia nigrescens* en Chañaral fue todo un éxito. A nivel experimental se lograron repoblar cerca de 200 m<sup>2</sup>, estableciendo el método de siembra con pegamento sobre piedra maciza como el mejor para este tipo de experiencia. Tanto plántulas como fragmentos de disco de fijación, fragmentos originados de plantas madres provenientes de poblaciones naturales, son factibles de ser empleados en este repoblamiento, con la salvedad que esta última vía es mucho más rentable, rápida y factible para el pescador artesanal. Es una técnica que abre expectativas enormes para el repoblamiento de esta especie en esta región, más aun considerando los niveles extractivos a los que está sometido.

Algunos métodos, sin embargo no fueron óptimos para esta especie. Dado las características de alta energía del ambiente donde habita, la siembra sobre bolones utilizando pegamento no es recomendable. Si lo es para otra especie de alga parda que habite en ambientes menos expuestos, como *Macrocystis integrifolia*. Asimismo, por la gran cantidad de herbívoros que habitan en el área, se sugiere sembrar en ambientes expuestos que contengan algas con mecanismos antiherbivoria (por ej. *Dictyota dichotoma*), lo que produce que estén menos susceptibles a este tipo de amenaza.

El repoblamiento de Chañaral norte y sur, como también barquito debe seguir siendo evaluada en diferentes periodos del año. La respuesta mejor se obtuvo en una variedad mejorada de esta especie (*M. pyrifera* y *m. integrifolia*). Es importante evaluar nuevas

variedades y/o triploides que sean capaces de tolerar estos ambientes. a ello debe sumarse estudios de la dinámica de la Bahía y de los sedimentos.

El cultivo de *Gracilaria chilensis* fijo al fondo en los lugares evaluados no es factible mantenerlos en el tiempo. Sin embargo, el cultivo suspendido debe ser evaluado en otros lugares de la bahía de Chañaral.

Los resultados en este proyecto indican, a nivel experimental, la factibilidad del repoblamiento de *L. nigrescens* en Chañaral, lo que podría traducirse en múltiples beneficios para esta población en el mejoramiento de las pesquerías de este recurso. El próximo paso será fortalecer este repoblamiento a través de experiencias pilotos, las que finalmente formarán una pradera artificial en Bahía Chañaral.

## 6. Literatura consultada

---

Al-Homaidan AA (2008) Accumulation of nickel by marine macroalgae from the Saudi coast of the Arabian Gulf. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 6 (1): 148-151.

Anthony JF (2000) The chemical composition of seawater (web site). Disponible en: <http://www.seafriends.org.nz/oceano/seawater.htm>

Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME) (2002) Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life: summary tables. Updated 2002. [http://www.ccme.ca/assets/pdf/sedqg\\_summary\\_table.pdf](http://www.ccme.ca/assets/pdf/sedqg_summary_table.pdf)

Castro G, Valdes J (2012) Concentración de metales pesados (Cu, Ni, Zn, Cd, Pb) en la biota y sedimentos de una playa artificial, en la bahía San Jorge 23°S, norte de Chile. *Lat. Am. J. Aquat. Res.* 40, 267-281.

Chan LH, Leeman WP, Plank T (2006) Lithium isotopic composition of marine sediments. *Geochem. Geophys. Geosys.* 7, Q06005. doi:10.1029/2005GC001202

Chester R (1990) *Marine geochemistry*. Chapman & Hall. London. 698.

Darracott A, Watling H (1975) The use of molluscs to monitor Cd levels in estuaries and coastal marine environments. *Transactions of the Royal Society of South Africa* 41: 325–338.

Eisler R (1985) Chromium hazards to fish, wildlife, and invertebrates: a synoptic review. Biological report, Contaminant Hazards reviews. Disponible en: [https://igsaceeswb00.er.usgs.gov/infobase/eisler/CHR\\_6\\_Chromium.pdf](https://igsaceeswb00.er.usgs.gov/infobase/eisler/CHR_6_Chromium.pdf)

Hagiwara S, Takahashi K (1967) Surface density of calcium ion and calcium spikes in the barnacle muscle fiber membrane. *Journal of General Physiology* 50, 583-601.

Han BC, Jeng WL, Hung TC, Wen MY (1996) Relationship between copper speciation in sediments and bioaccumulation by marine bivalves of Taiwan. *Environ Pollut* 91:35–39

Hirst M (2003). Analysis of Marine Sediments Collected in Cook's Bay, French Polynesia. 15 p.  
Disponible en: <http://nature.berkeley.edu/classes/es196/projects/2003final/Hirst.pdf>

Horne RA (1969) *Marine Chemistry: The Structure of Water and the Chemistry of the Hydrosphere*. Ed. Wiley, 380 p.

Johnson, MW, Fleming, RH (1942) *The Oceans, Their Physics, Chemistry, and General Biology*. Prentice-Hall, New York, NY, 1087 pp.

Kut D, S. Topcuoğlu, N. Esen, R. Küçükcezzar, K.C. Güven (2000) Trace metals in marine algae samples from the Bosphorus. *Water, Air and Soil Pollut* 118, 27–33.

Lépez L, Furet L, Aracena O (2001) Población de *Emérita análoga* (Stimpson 1957) en playas Amarilla y Rinconada, Antofagasta: aspectos abióticos, bióticos y concentraciones de cobre. *Gayana*, 65(1): 59-87.

Maher W, Butler E (1988) Arsenic in the marine environment. *Appl Organometallic Chem* 2, 191–214

Mance, G, Brown VM, Yates J (1984) Proposed environmental quality standards for list II substances in water—Copper. Technical report TR 210, WRc, Medmenham.

Moe AMJr (1992) *The marine aquarium handbook. Beginner to breeder*. Green Turtle Publication, Florida. 318 p.

Neff JM (2009) Ecotoxicology of arsenic in the marine environment. *Environ Toxic Chem* 16, 917 – 927.

Nolan CV, SW Fowler, JL Teysse (1992) Cobalt speciation and bioavailability in marine Organisms. Mar. Ecol. Prog. Ser. 88, 105, 116.

Phillips DJ, Depledge MH (1986) Distribution of inorganic and total arsenic in tissues of the marine gastropod *Hemifusus ternatanus*. Mar Ecol, 34, 261–266

Reish DJ, Oshida PS, Mearns AJ, Ginn TC, Buchman M. Effects of pollution on marine organisms. Water Environ Res 2005; 77(7):2733–2919.

Swinehart JH, Smith KW (1979) Iron and Manganese Deposition Peristraca of Several Bivalve Molluscs. Biol Bull 156, 369–381.

Timmons MB, Ebeling JM, Wheaton FW, Summerfelt ST, Vinci BJ (2002) Recirculating aquaculture systems. Northeastern Regional Aquaculture Center. E.U.A. 769 p.

Turekian KK (1968) Oceans. Englewood, Cliffs, N.J., Prentice-Hall. 120 p.

Zheng Y, Anderson RF, Van Green A, Kuwabara J (2000) Authigenic molybdenum formation in marine sediments: A link to pore water sulfide in the Santa Barbara Basin. Geochimica et Cosmochimica Acta, 64, 4165–4178.

Vasquez JA & N Guerra (1996) The use of seaweeds as bioindicators of natural and anthropogenic contaminants in northern Chile. Hydrobiologia 326/327: 327-333.

Wahbeh M (1985) Levels of Zn, Mn, Mg, Fe and Cd, in three species of seagrasses from Agaba (Jordan). Aquat Bot 20, 179–183.

Wahbeh MI, Mahasneh DM & Mahasneh I (1985) Concentrations of zinc, manganese, copper, cadmium, magnesium and iron in ten species of algae and seawater from Aqaba, Jordan. Mar. Environ. Res. 16: 95-102.

Westermeier R., Rivera P. & I. Gómez. 1988. Cultivo de *Gracilaria* sp. en el estuario Cariquilda Maullín, Chile. *Invest. Pesq.* 35: 73-81.

Westermeier R., Rivera P. & I. Gómez. 1988. Manual para el cultivo y manejo de *Gracilaria* en el sur de Chile. CORFO-U. Austral de Chile. 245 pp.

Westermeier, R. & P. Rivera, 1989. Evaluación de sistemas de cultivos en CORFO: Investigación, desarrollo, cultivos y uso industrial de algas *Gracilaria*. 223 pp.

Westermeier R, Möller P (1990) Population dynamics of *Macrocystis pyrifera* (L.) C. Agardh in the rocky intertidal of southern Chile. *Bot Mar* 33:363–367

Westermeier R, Gómez I (1996) Biomass, energy contents and major organic compounds in the brown alga *Lessonia nigrescens* (Laminariales, Phaeophyceae) from Mehuín, South Chile. *Bot Mar* 39:553–559

Westermeier R, Gómez I, Rivera PJ, Müller DG & Wenzel H (2004) Population biology of *Durvillaea antarctica* and *Lessonia nigrescens* (Phaeophyceae) in Southern Chile. *Mar Ecol Prog Ser* 110: 187-194.

Westermeier R. 2004. Investigación y desarrollo tecnológico del cultivo de algas y su utilización por invertebrados en Chile. Informe final proyecto Fondef: 152p.

Westermeier R., Patiño D., Piel M.I. & D.G. Müller. 2005. Manual de cultivo del alga parda *Macrocystis pyrifera* (Huiro), Chile. Proyecto FONDEF D00I1144. Universidad Austral de Chile, Chile. 38 pp.

Westermeier, R., Patiño D., Piel M.I., Maier I. & D.G. Müller. 2006. A new approach to kelp mariculture in Chile: production of free-floating sporophyte seedlings from gametophyte cultures of *Lessonia trabeculata* and *Macrocystis pyrifera*. *Aquaculture Research* 37, 164-171

Westermeier, R., Patiño D. & D.G. Müller. 2007. Sexual compatibility and hybrid formation between the giant kelp species *Macrocystis pyrifera* and *M. integrifolia* (Laminariales, Phaeophyceae) in Chile. *J Appl Phycol* 19: 215-221

Westermeier, R. 2009. "Maricultura de *Macrocystis* en Chile: introducción a técnicas de hibridación, caracterización de clones parentales e hibridación recíproca. Informe Final Proyecto FONDEF D0411288.110 p.

Westermeier R., Patiño D., Müller H. & D.G. Müller. 2010. Towards domestication of giant kelp (*Macrocystis pyrifera*) in Chile: selection of haploid parent genotypes, outbreeding, and heterosis. *J Appl Phycol* 22:357–361

Westermeier R, Patiño D., Murúa P. & D.G. Müller. 2011. *Macrocystis* Mariculture in Chile: Performance of Heterosis Genotype Constructs under Field Conditions. *J Appl Phycol* 23:819–82

Westermeier R., Patiño D., Murúa P., Quintanilla J.C., Correa J., Buschmann A. & I. Barros. 2012a. A pilot-scale study of the vegetative propagation and suspended cultivation of the carrageenophyte alga *Gigartina skottsbergii* in southern Chile. *J Appl Phycol* 24:11–20

Westermeier R., Murúa P., Patiño D., Muñoz L. Ruiz A. & DG Müller (2012b) Variations of chemical composition and energy content in natural and genetically defined cultivars of *Macrocystis* from Chile. *J. Appl. Phycol* in press DOI 10.1007/s10811-011-9752-6.

Westermeier R., Patiño D., Murúa P., Muñoz L., Ruiz A. & C. Atero (2012c) Manual de repoblamiento de *Macrocystis integrifolia* en la Región de Atacama. Proyecto FIC FNDR 2010 Región de Atacama. Universidad Austral de Chile 44pp.

Westermeier R., Murúa P., Patiño D., Muñoz L., Ruiz A., Atero C. & D.G. Müller (2013a) Utilization of holdfast fragments for vegetative propagation of *Macrocystis integrifolia* in Atacama, Northern Chile. *J Appl Phycol* 25, 639 – 642.

Westermeier R, Murúa P, Patiño D, Muñoz L, Ruiz A, Atero C, Müller DG (2013b) Growth patterns of Chilean kelps holdfast after fragmentation: a novel repopulation approach. Proceedings of 21st International Seaweed Symposium 21, 242 – 243. Available at: [www.xxiseaweedsymposium.org](http://www.xxiseaweedsymposium.org)

Westermeier R, Murúa P, Patiño D, Muñoz L, Atero C, Müller DG (2013c). Repopulation techniques for *Macrocystis integrifolia* (Phaeophyceae: Laminariales) in Atacama, Chile. J App Phycol (Accepted for publication)